

VŠB-Technická univerzita Ostrava

Fakulta stavební

Katedra stavebních hmot a diagnostiky staveb

Výzkum a vývoj vysokopevnostních alkalicky aktivovaných systémů

Research and development of high-strength alkali-activated systems

Student:

Lukáš Janalík

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Jana Boháčová

Ostrava 2015

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta stavební
Katedra stavebních hmot a diagnostiky staveb

Zadání bakalářské práce

Student: **Lukáš Janalík**
Studijní program: B3607 Stavební inženýrství
Studijní obor: 3647R019 Stavební hmoty a diagnostika staveb
Téma: **Výzkum a vývoj vysokopevnostních alkalicky aktivovaných systémů**
Research and development of high-strength alkali-activated systems

Zásady pro vypracování:

Předmětem bakalářské práce je ověření vlastností vysokopevnostních alkalicky aktivovaných systémů. Jako pojiva budou použity sekundární suroviny ve formě technogenních pucolánů. V systémech budou pro maximalizaci konečných pevností uplatněny zásady pro přípravu vysokopevnostních betonů, tedy zejména použití jemně mletých látek na bázi amorfního oxidu křemičitého, minimalizování vodního součinitele, aj. Na připravených zkušebních tělesech budou zjišťovány základní fyzikálně-mechanické vlastnosti vytvořeného materiálu.

Seznam doporučené odborné literatury:

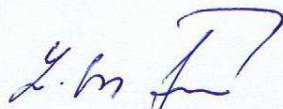
- [1.] BOHÁČOVÁ, J.: *Příprava a ověření vlastností geopolymérů na bázi metakaolínu a dalšího pojiva*. Diplomová práce. VŠB - TUO. Fakulta stavební, 2009, Ostrava. 95 s.
- [2.] BOHÁČOVÁ, J.: *Studium vlivu různých typů plniv na vlastnosti geopolymerních systémů na bázi alkalicky aktivovaných strusek*. Bakalářská práce. VŠB - Technická univerzita Ostrava. Fakulta stavební, 2008, Ostrava. 65 s.
- [3.] ŠKVÁRA, F.: *Alkalicky aktivované materiály - geopolymery*. Praha, 2007. ISBN 978-80-7080-004-1. Dostupné z: <http://www.vscht.cz>. VŠCHT v Praze, Ústav skla a keramiky.
VLČEK, J.: *Materiálové využití strusek z metalurgie železa a oceli metodou alkalické aktivace*. Ostrava, 2008. Habilitační práce. VŠB-TUO, FMMI.
- [4.] DAVIDOVITS, J.: *Geopolymer: chemistry*. 2nd ed. Saint-Quentin: Institute Géopolymre, 2008, 587 s. ISBN 29-514-8201-9.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Jana Boháčová**

Datum zadání: 31.10.2014

Datum odevzdání: 04.05.2015



Ing. Libor Židek
vedoucí katedry



prof. Ing. Radim Čajka, CSc.
děkan fakulty

Prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě dne.....

.....

Podpis studenta

Prohlašuji, že

- byl jsem seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. – autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- беру на ве́домі́, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB-TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že jeden výtisk bakalářské práce bude uložen v Ústřední knihovně VŠB-TUO k prezenčnímu nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o bakalářské práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- беру на ве́домі́, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě

Anotace

JANALÍK, L. *Výzkum a vývoj vysokopevnostních alkalicky aktivovaných systémů. Bakalářská práce.* VŠB- Technická univerzita Ostrava, Fakulta stavební, katedra stavebních hmot a diagnostiky staveb, Ostrava. 2015, 101 s.

Alkalicky aktivované systémy představují ve stavebním průmyslu bezcementovou alternativu pojiv. Jedná se o dvousložkové systémy, v nichž jsou jako pojiva používány především sekundární suroviny technogenního původu a jako aktivátory jsou nejčastěji využívány roztoky alkalických kovů. Takto připravené kompozity dosahují nadprůměrných pevností a mají vynikající odolnostní vlastnosti.

Rozšíření těchto materiálů do stavební praxe brání především použití vysoce žíravých látek a zároveň vysoká proměnlivost kvality výstupů v závislosti na podmínkách přípravy.

Hlavní cílem této práce je příprava vysokopevnostních směsí na bázi alkalicky aktivovaného systému. Součástí práce je rovněž stručný popis problematiky alkalicky aktivovaných systémů a seznámení se s problematikou navrhování vysokopevnostních betonů, na jejímž základě byly směřovány výzkumné práce při návrhu a přípravě vysokopevnostních alkalicky aktivovaných hmot.

V rámci experimentu byly připraveny v jednotlivých etapách alkalicky aktivované směsi, u nichž byl postupně ověřován vliv použité přísady, příměsi nebo kameniva na konečné vlastnosti vytvořeného kompozitu.

Klíčová slova: alkalicky aktivovaný, vysokopecní jemně mletá granulovaná struska, vysokopevnostní beton.

Abstract

JANALÍK, L. *Research and development of high-strength alkali-activated systems. Bachelor's thesis.* VŠB - Technical University of Ostrava, Faculty of Civil engineering, Department of Building materials and diagnostics of Structures, Ostrava. 2015, 101 p.

Alkali activated systems present uncemented alternative binders in the building industry. These are two-component systems, where secondary raw materials of technogenic origin are mainly used as binders, and as activators are most frequently used solutions of alkali metals. Thus prepared composites achieve above-average strength and have excellent resistance properties.

Expansion of these materials in construction practice primarily prevents the use of highly caustic substances as well as the high variability of quality of outputs depending on the preparation conditions.

The main objective of this work is the preparation of high-strength material based on alkali-activated system. The thesis also includes a brief description of the issue of alkali-activated systems and conversance with the problems of designing high-strength concrete, under which was directed a research for the design and preparation of high-strength alkali-activated materials.

In the experiment were prepared in various stages alkali activated mixtures, where was gradually verified the influences of the used additives, admixtures or aggregates on the final properties of the formed composite.

Keywords: Alkali activated, finely ground granulated blast furnace slag, high strength concrete.

Obsah

Seznam značení	4
1. Úvod	5
2. Alkalicky aktivované systémy	6
2.1. Alkalická aktivace	6
2.2. Definice geopolymery	7
2.3. Pojetí Geopolymerů	7
2.4 Dějiny a výzkum geopolymery	9
3. Vysokopevnostní betony	10
3.1. Charakteristika vysokopevnostních betonů	10
3.2. Skladba vysokopevnostních betonů	11
3.2.1. Vodní součinitel a voda do betonu	11
3.2.2. Plastifikátory	14
3.2.3. Křemičitý úlet	14
3.2.4. Kamenivo	14
3.2.5. Cement	16
3.2.6. Vlákna do betonu	16
3.3. Použití vysokopevnostních betonů v praxi	17
3.3.1. Park City Musashi Kosugi v Tokyu	17
3.3.2. Trump International Hotel and Tower v Chicagu	18
4. Teoretická východiska pro vysokopevnostní alkalicky aktivované systémy	20
4.1. Superplastifikátory	20
4.2. Kamenivo	20
4.3. Vodní součinitel	20
5. Použité suroviny	21
5.1. Referenční směs	21
5.1.1. Vysokopecní granulovaná struska (VGS)	21
5.1.2. Aktivátor	21
5.1.3. Voda	22

5.1.4. Normalizovaný písek.....	22
5.2. Superplastifikátory	22
5.2.1. GLENium® SKY 665	22
5.2.2. RHEOBUILD® 1026.....	23
5.2.3. Castament® FS 65.....	23
5.3. Jemnozrnné příměsi.....	24
5.3.1 Metakaoliny.....	24
5.3.2. Mikrosilika	25
5.4. Kamenivo	25
5.4.1. Čedič.....	26
5.4.2. Žula.....	26
5.4.3. Korund.....	27
5.4.4. Normalizovaný písek.....	27
5.5. Skleněná vlákna.....	28
6. Zkušební postupy	28
6.1. Příprava směsi	28
6.2. Zhotovení zkušebních těles	29
6.3. Ošetření zkušebních těles	29
6.4. Stanovení konzistence čerstvé směsi.....	29
6.5. Stanovení pevnosti v tahu za ohybu	30
6.6. Stanovení pevnosti v tlaku	31
6.7. Stanovení statického modulu pružnosti.....	31
6.8. Stanovení zrnitosti - Sítový rozbor.....	32
7. Referenční směs	32
8. Vliv superplastifikátorů.....	35
8.1. Konzistence	35
8.1.1. GLENium® SKY 665	35
8.1.2. 5g RHEOBUILD® 1026.....	36
8.1.3. 15g RHEOBUILD® 1026.....	37
8.1.4. 2g Castament® FS 65.....	38

8.1.5. Vyhodnocení	39
8.2. Pevnost	40
8.2.1. 5g RHEOBUILD® 1026.....	40
8.2.2. 15g RHEOBUILD® 1026.....	42
8.2.3. 2g Castament® FS 65.....	44
8.2.4. Vyhodnocení	46
9. Vliv jemnozrnných příměsí	47
9.1. I-Meta	47
9.2. N-Meta.....	49
9.3. Mikrosilika	51
9.4. Vyhodnocení	53
10. Vliv kameniva	54
10.1. Korund.....	54
10.2. Čedič.....	56
10.3. Žula.....	58
10.4. Vyhodnocení	60
11. Vliv skleněných vláken	61
11.1. ANTI-CRACK HP-6MM.....	61
11.2. ANTI-CRACK HP-12MM.....	63
11.3. Vyhodnocení	64
12. Návrh vysokopevnostního alkalicky aktivovaného systému.....	66
12.1. Směs s pískem	66
12.2. Směs s čedičem	72
12.3. Vyhodnocení	77
13. Závěr.....	79
14. Poděkování	81
15. Použitá literatura	82
16. Seznam Obrázků	84
17. Seznam tabulek	87
18. Seznam příloh.....	88

Seznam značení

HSC	High Strenght Concrete
HPC	High Performance Concrete
LC	lehký beton
C	concrete
CSH	hlinitokřemičitanový gel
UFC	Ultra-High-Strength Fiber-Reinforced Concrete
SCC	Self-Compacting Concrete
NMR	Nukleární Magnetická Rezonance
pH	Záporný dekadický logaritmus koncentrace oxoniových kationtů
w	množství vody
c	množství cementu
F_c	Zatížení při porušení pro zkoušku v tlaku v kN
F_f	Lomové zatížení pro zkoušku tahu za ohybu v kN
R_c	Pevnost v tlaku v MPa
R_f	Pevnost v tahu za ohybu v MPa
a.c	Plocha, na kterou působí zatížení při zkoušce pevnosti v tlaku v mm^2
b	Délka boční strany tělesa pro zkoušku v tahu za ohybu v mm
l	Vzdálenost podpor u zkoušky v tahu za ohybu v mm
m	Hmotnost v g
E_c	Statický modul pružnosti v tlaku v N/mm^2
σ_a	Mezní zatěžovací napětí N/mm^2
σ_b	Základní napětí
ε_a	Průměrné poměrné přetvoření při horním zatěžovacím napětí
ε_b	Průměrné poměrné přetvoření při základním napětí

1. Úvod

Alkalicky aktivované systémy představují ve stavebním průmyslu bezcementovou alternativu pojiv. Jedná se o dvousložkové systémy, v nichž jsou jako pojiva používány především sekundární suroviny technogenního původu a jako aktivátory jsou nejčastěji využívány roztoky alkalických kovů. Takto připravené kompozity dosahují v porovnání s komerčně dostupnými stavebními materiály nadprůměrných pevností a mají vynikající odolnostní vlastnosti.

Rozšíření těchto materiálů do stavební praxe brání především použití vysoce žíravých látek a zároveň vysoká proměnlivost kvality výstupů v závislosti na podmínkách přípravy.

Hlavní cílem této práce je příprava vysokopevnostních směsí na bázi alkalicky aktivovaného systému. Součástí je rovněž stručný přehled alternativní skupiny bezcementových pojiv, jež alkalicky aktivované systémy představují a seznámení se s problematikou navrhování vysokopevnostních betonů, na jejímž základě byly směřovány výzkumné práce při návrhu a přípravě vysokopevnostních alkalicky aktivovaných hmot.

Praktická část probíhala v několika etapách. V rámci první etapy byla odzkoušena referenční receptura, následovalo stanovení optimálního množství vody ve směsi. Poté byly testovány plastifikátory a jejich vliv na snížení množství záměsové vody a vliv na vývoj pevností.

V třetí fázi výzkumu byl ověřován vliv jemnozrnných příměsí, byly použity metakaoliny a mikrosilika. Další část prací byla zaměřena na ověření vlivu kameniva, kdy byl normalizovaný písek nahrazen korundem, čedičem a žulou. V poslední fázi přípravné části byl ověřován vliv skleněných vláken, kdy byly odzkoušeny dva druhy vláken.

Ve finální části výzkumných prací byla na základě předchozích výsledků navržena receptura alkalicky aktivované hmoty, jež by dle teoretických předpokladů a na základě zhodnocení dosavadních výsledků měla dosahovat vysokých pevností.

2. Alkalicky aktivované systémy

Alkalicky aktivované systémy představují ve stavebním průmyslu relativně nový druh pojivového systému. Relativní v tomto pojetí znamená, že jejich použití sice předpokládáme již ve starověku, novodobý vědecký průzkum této skupiny bezcementových pojiv však probíhá až od cca 30. let 19. století.

Vlastnosti alkalicky aktivovaných systémů je předurčují pro široké množství aplikací nejen ve stavebnictví, v němž mohou být používány jako materiály pro nátěry a lepidla, pojiva pro vláknové kompozity, zapouzdření odpadu a bezcementové betony. Vlastnosti a jejich možné využití jsou zkoumány v mnoha vědeckých a průmyslových disciplínách: moderní anorganické chemii, fyzikální chemii, koloidní chemii, mineralogii, geologii, a ve všech typech inženýrské technologické výroby. Široká škála možných aplikací zahrnuje: protipožární materiály, ozdobné kamenné artefakty, tepelné izolace, nízko technologické stavební hmoty, nízkoenergetické keramické dlažby, biotechnologie (materiály pro lékařské aplikace), slévárenství, tmely a betony, kompozity pro opravu a posilování infrastruktury, high-tech kompozity pro interiér letadel a automobilů, high-tech systémy pryskyřic, kulturní dědictví, archeologie a dějin přírodních věd. [1]

2.1. Alkalická aktivace

Alkalická aktivace hlinitokřemičitanových materiálů představuje komplexní proces, který dosud nebyl popsán v plné míře. Reakce hlinitokřemičitanových materiálů v silně alkalickém prostředí spočívá, v první řadě v rozpadu Si-O-Si vazeb, později vznikají nové fáze. Pronikání Al atomů do původní struktury Si-O-Si představuje podstatný prvek této reakce, při které vznikají hlinitokřemičitanové gely. Jejich složení může být charakterizováno obecným vzorcem $M_n[-(Si-O)_z - Al-O]_n \cdot wH_2O$. CSH a CAH fáze mohou rovněž vzniknout v závislosti na složení výchozích surovin a podmínek reakce. Dokonce i sekundární H_2O může být vytvořena v průběhu této polykondenzační reakce. Amorfni (gelovitě) nebo částečně amorfni případně krystalické látky mohou vznikat v závislosti na povaze výchozích surovinách a na podmínkách reakce. Koncentrace s pevným materiálem hraje významnou roli v procesu alkalické aktivace. Převážně krystalické typy zeolitických produktů jsou vytvořeny ve velmi zředěných suspenzích. Z tohoto důvodu, se výše uvedený postup používá pro syntézu umělých zeolitů, protože je podpořen řadou publikací. Převážně amorfni produkty vznikají při vyšších koncentracích pevné fáze v suspenzi ($w < 1$). [2]

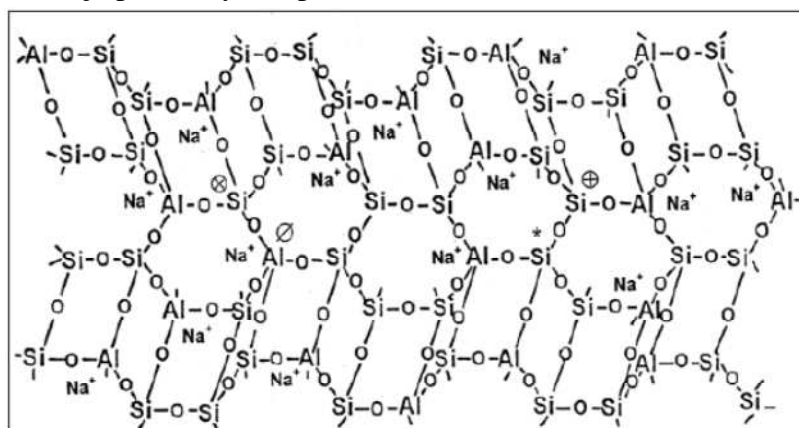
2.2. Definice geopolymu

Davidovits jej definuje takto: Geopolymer je materiál, který vznikl anorganickou poly-kondenzací, tedy tak zvanou „geo-polymerací“ (v důsledku alkalické aktivace aluminosilikátových materiálů). [2] Této definici vyhovuje systém, v němž je použitý pouze čistý metakaolin. Davidovits vytvořil termín „geopolymerní“ téměř 20 let po Gluchovského termínu „gruntosilikát“. [2] I přes nepřesnost se v současnosti často používá zjednodušený výraz geopolymer pro všechny alkalicky aktivované systémy. [3]

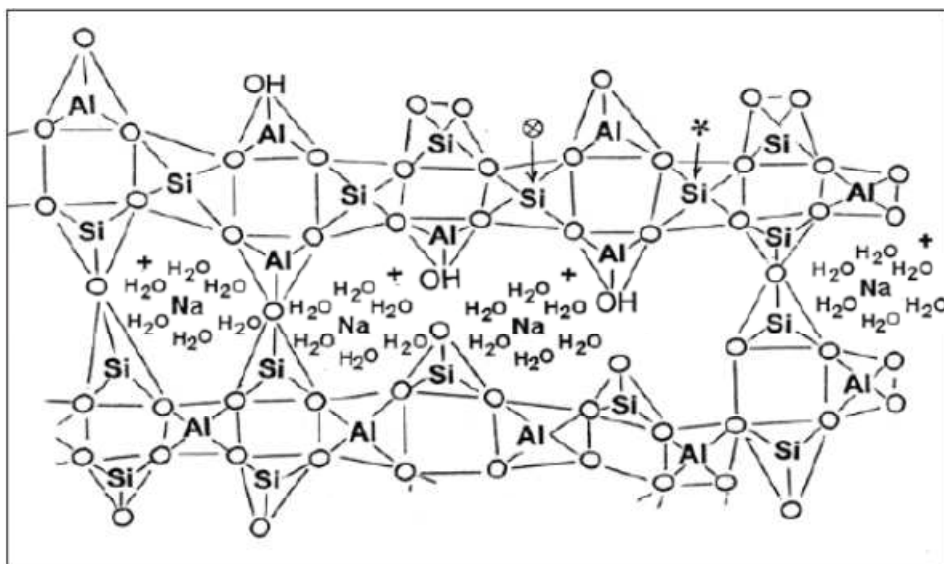
2.3. Pojetí Geopolymerů

Na základě své výzkumné práce Davidovits zpracoval strukturální model geopolymu (v tomto případě model byl navržen pro poly-sialát vytvořený alkalickou aktivací meta-kaolinu). Ve svém modelu předpokládá v podstatě jednoduitost geopolymu podobnou organickým polymerům. (Obr. 1). [2]

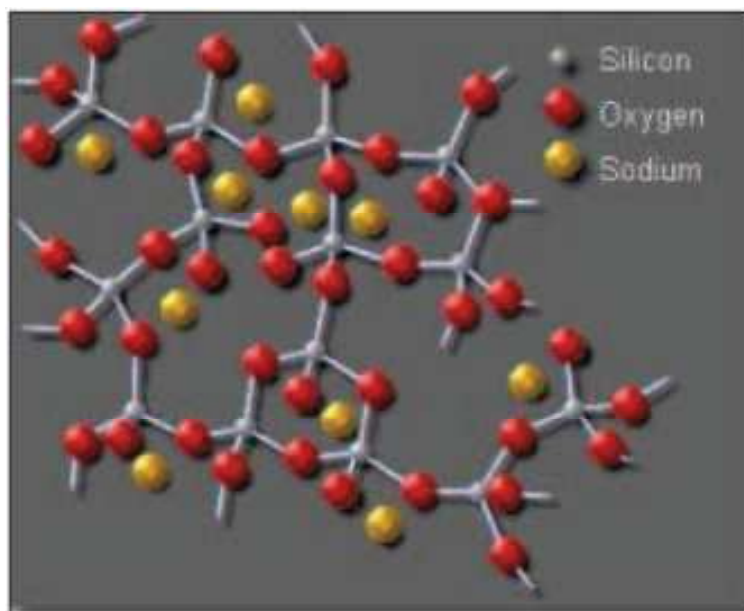
Dalším výzkumem mikrostruktury produktu alkalické aktivace (geopolymerizace) a zejména s výsledky získanými za použití metod termické analýzy, rtuťové porozimetrie, dat získaných měření BET izotermických křivek a MAS NMR spektroskopie (Si, Al a zejména Na) je přípustné jisté přepracování této koncepce. Na základě výše uvedených výsledků Barbosa navrhl modifikovaný model (Obr. 2). Geopolymerní materiály jsou podobné jako skelné subjekty (NMR spektra hlinito-silikátových skel a geopolymu jsou podobné). Oba materiály vykazují stejné trojrozměrné uspořádání. Neexistuje však žádná voda přítomná ve struktuře skla, a sklo je prakticky bez pórů (Obr. 3). [2]



Obr. 1: Davidovitsův model [2]



Obr. 2: Barbosův model [2]



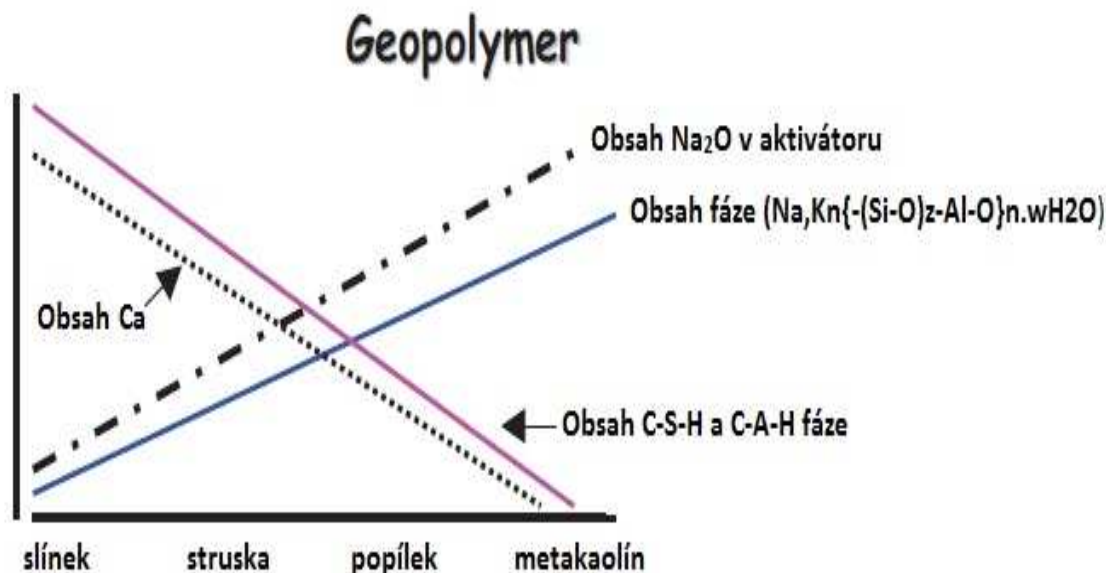
Obr. 3: Struktura skla [2]

Jsou-li tyto polymery pojaty jako velká skupina poživ, pak významné rozdíly v charakteru a složení konečného produktu se mohou nacházet v alkalické aktivaci různých hlinitokřemičitých materiálů (Obr. 4).

Je zde možno pozorovat viditelné tendence ve výchozí sérii se slínkem, struskou, popílkem a konče kaolinovými materiály:

- je nutné zvýšit obsah Na_2O při alkalické aktivaci.
- Je nutno použít "silnější" aktivační činidla (alkalické uhličitany, alkalické křemičitany, respektive alkalické hydroxidy).

- Obsah v $M_n [-(Si - O)_z - Al - O]_n \cdot wH_2O$ fáze se postupně zvyšuje, maxima je dosaženo u systému na bázi metakaolinu.
- Obsah Ca v produktu klesá a tím poklesne i obsah C-S-H a C-A-H fáze. [2]



Obr. 4: Průběh alkalické aktivace různých hlinitokřemičitanových materiálů [2]

2.4 Dějiny a výzkum geopolymérů

Poprvé se mluví o použití alkalicky aktivovaných materiálů v souvislosti se starověkem a to konkrétně při stavbě pyramid v Egyptě, a také u zikkuratů v Mezopotámii. Vedou se také spekulace o používání geopolymérů civilizacemi Jižní a Střední Ameriky a o několik set let později jsou spojovány se stavbami, jež se nacházejí ve starověkém Římě. Na základě informací o vzdělanosti těchto kultur, jejich velkém bohatství, zeměpisné poloze a dle chemických rozborů dochovaných staveb můžeme mluvit o schopnosti výše uvedených civilizací vyrobit tyto materiály. [3]

V polovině 20. století byly zahájeny novodobé výzkumy. První použití alkalicky aktivovaných materiálů v průmyslu se odehrálo v roce 1934 v keramických závodech Olsen. V 50. letech se k výstavbě mohutných konstrukcí vzhledem k vývinu menšího hydratačního tepla byly použity tzv. „Trief cements“, což jsou alkalicky aktivované struskocementy. V roce 1953 geopolymery zkoumala americká armáda a alkalickou aktivaci prováděla smíšením 1,5% NaCl a 1,5% NaOH a 97% mleté strusky. V roce 1969 získal profesor Gluchovskij první patent na přípravu „gruntocementů“, jak nazval alkalicky aktivované struskové betony.

Výzkumem byla zjištěna reakce za vzniku zeolitů. Podle jeho receptury byly v 60. letech vytvořeny prefabrikované bloky a byla provedena první stavba. Davidovits s Legrandem rozvinuli v 70. letech na geosyntéze založené technologie. 1978 byl Davidovitsem poprvé použit pojem geopolymery pro alkalicky aktivované materiály. [3]

V naší republice se jako první těmito materiály zabýval v 60. letech 20. století prof. Brandšter VUT v Brně. Systémy na bázi popílku a metalurgických strusek se v 90. letech zabýval na VŠCHT Ústav skla a keramiky a jejich konečné směsi dosahovaly pevností až kolem 170 MPa.

Počínaje rokem 2004 se Česká rozvojová agentura angažuje v oblasti výzkumu geopolymery a má za hlavní cíl zařazení geopolymery do stavební praxe. V roce 2005 skupina Oddělení chemie geopolymery představila materiál Benit (geopolymer na bázi popílku), který umožní použití do betonu nevhodného a nekvalitního kameniva, také je možno použít slanou záměsovou vodu, a to bez nežádoucího vlivu na konečnou pevnost.

Na VŠB-TUO Fakultě stavební byl výzkum zahájen v roce 2008. V rámci využití systémů ve stavebnictví jsou alkalicky aktivované systémy zkoumány v několika různých směrech, a to například možnosti využití plniva na bázi různých odpadů ze stavebnictví a z těžby, vliv použitého typu aktivátoru na konečné vlastnosti, vliv proteplování, aj. [3]

3. Vysokopevnostní betony

Práce je zaměřena na přípravu a ověření vlastností vysokopevnostních alkalicky aktivovaných systémů, jež samy o sobě běžně dosahují vysokých pevností. Cílem této práce je pokusit se aplikovat zásady pro přípravu vysokopevnostních betonů na tyto systémy, proto jsou následující kapitoly věnovány právě problematice vysokopevnostních betonů.

3.1. Charakteristika vysokopevnostních betonů

Vysokopevnostní betony jinak také HSC (High Strength Concrete) jsou jedním z druhů tzv. vysokohodnotných betonů HPC (High Performance Concrete). Jejich charakteristická pevnost se pohybuje od 65 MPa výše. Vysokopevnostní betony mají strmý nárůst počáteční pevnosti, která by měla po 1 dni dosahovat 50 MPa. Po 28 dnech zrání v

normových podmínkách se tato pevnost pohybuje od 80 MPa až po 180 MPa. HSC díky svému složení má velkou hutnost cementového kamene, což má za následek omezení tvorby kapilárních pórů. Díky tomu vysoko pevnostní beton má větší trvanlivost, lépe odolává agresivnímu prostředí (vnějším vlivům) a mrazovým cyklům. Další přednost těchto betonů je v možnosti zeštíhlení průřezů nosných prvků včetně snížení množství výztuže, což se promítne do snížení hmotnosti nosných prvků betonu a možné rozšíření dispozice. [4]

Pevnostní třída vysokopevnostních betonů je vyšší než C50/60 pro těžký a normální beton a LC 50/55 pro lehké betony (Tab. 1). Hlavní použití je u mostních konstrukcí a u výškových staveb. [14]

Tab. 1: Třídy pevností vysokopevnostních betonů [14]

Třídy pevností vysokopevnostních betonů	
normální a těžký beton	lehký beton
C 55/67	LC 50/55
C 60/75	LC 60/66
C 70/85	LC 70/77
C 80/95	LC 80/88
C 90/105	
C 110/115	

*Poznámka: v označení **beton C20/25** znamená
C - concrete,
20 - charakteristická válcová pevnost betonu v tlaku,
25 - charakteristická krychelná pevnost betonu v tlaku. [14]*

3.2. Skladba vysokopevnostních betonů

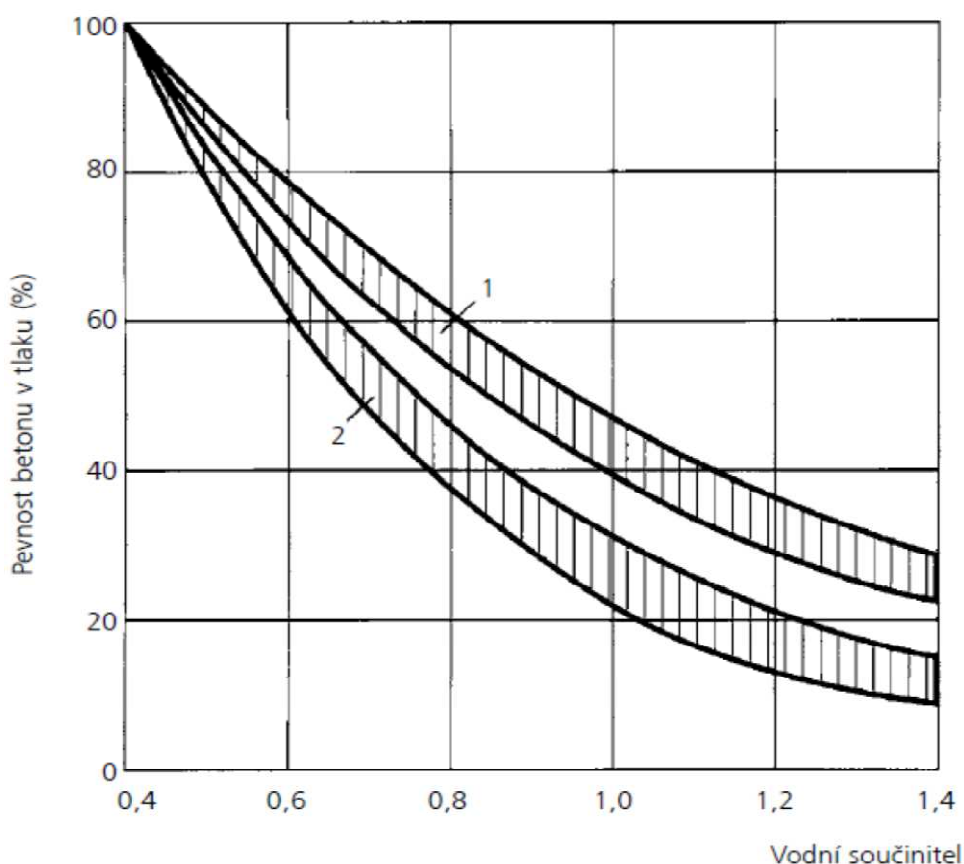
V následujících podkapitolách jsou popsány nejdůležitější zásady pro navrhování vysokopevnostních betonů.

3.2.1. Vodní součinitel a voda do betonu

Nejdůležitější úkol je maximální snížení vodního součinitele (w/c) pod hodnotu 0,35 a použít přitom plastifikátory pro zlepšení čerpatelnosti čerstvého betonu a dobré zpracovatelnosti. [4]

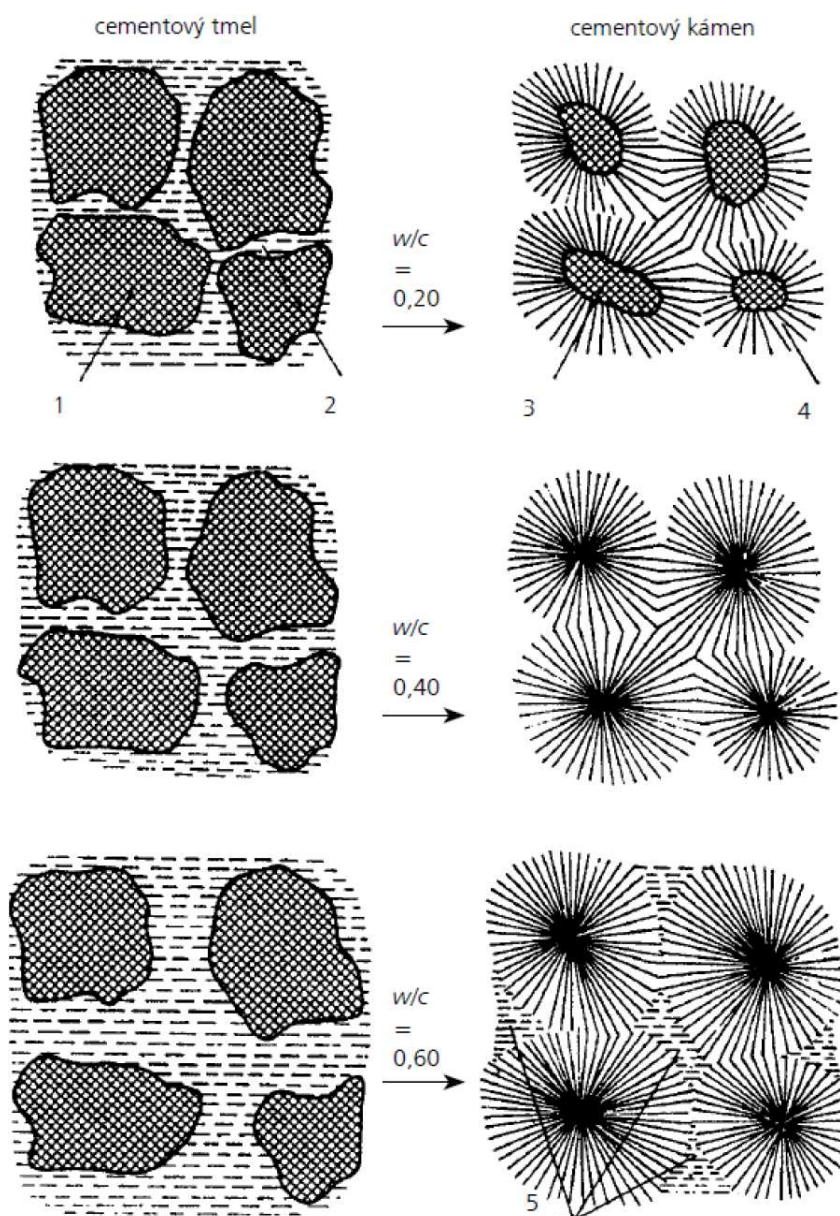
Vodní součinitel je hodnota w/c = hmotnostně obsah vody/obsah cementu. Velmi malá hodnota vodního součinitele má za následek vývin značného množství hydratačního tepla a nárůst pevností, naopak se stoupající hodnotou klesá pevnost cementového tmele, hodnoty by měly být prokázány průkaznými zkouškami (Obr. 5).

Do w/c se zahrnuje, krom vody a cementu, i obsah vody v suspenzi křemičitého úletu, pokud jej použijeme, a také ostatní množství tekutých přísad. Do hmotnosti pojiva kromě cementu pak zahrnujeme i obsah pevné fáze suspenzí křemičitého úletu a celkové množství ostatních přidaných pucolánových materiálů. [4, 6]



Obr. 5: Vztah mezi vodním součinitelem a pevností betonu [4]
 1 - Oblast pevnosti v tahu za ohybu, 2 - Oblast pevnosti v tlaku

Běžně nedochází k hydrataci veškerého cementu v betonu, protože nedochází k úplné hydrataci poměrně velkých zrn cementu $> 50 \mu\text{m}$. Rovněž nemusí dojít k hydrataci všech zrn vlivem nerovnoměrného rozptýlení vody, navíc ještě dochází k předčasnému odpařování vody z betonu (Obr. 6). Kvůli tomu má voda ošetrovací významnou úlohu při hydrataci cementu a vývinu pevností betonu. [4]



Obr. 6: Hydratace cementu v závislosti na vodním součiniteli [4]

1 - Cementové zrno (slínek), 2 - Voda, 3 - Nezhidratovaný cement, 4 - Zhydratovaný cement, 5 - Kapilární póry

Záměsová voda musí vyhovovat dle ČSN EN 1008. Do vysokopevnostních betonů se nesmí používat recyklovaná voda. [6]

3.2.2. Plastifikátory

Plastifikátory pro vysokopevnostní betony se dávkují, pro optimální rozlití směsi F5, nad 1,5 % hmotnosti cementu. Používají se sulfonované melaminformaldehydové nebo naftalenformaldehydové kondenzáty (SMF, SNF). Dále se dají použít i přísady na bázi polykarboxyeterů. Superplastifikátory jsou známé jako syntetické makromolekulární sloučeniny. Díky nim mají betony vyšší pevnost, a další vlastnosti, jako například vyšší odolnost vůči chemické korozi, zvýšenou adhezi pasty ke kamenivu či výztuži, zvýšená odolnost vůči průsaku tlakovou vodou, vyšší modul pružnosti, mrazuvzdornost, vysokou tekutost, lepší chování při smršťování a dotvarování. První superplastifikátory se objevily jako produkty kondenzace sulfonovaného naftalenu nebo sulfonovaného melaminu s formaldehydem. Odstranění sacharidů umožňuje použití většího množství superplastifikátorů a povedlo se snížit hodnotu vodního součinitele pod 0,3. [4, 5]

3.2.3. Křemičitý úlet

Pro navýšení pevnosti a hutnosti cementového kamene a jeho spojitosti s povrchem zrn kameniva i výztuže se přidává při výrobě betonu křemičitý úlet (silicia fume), který obsahuje 80 až 98 % amorfního křemene s velmi vysokým měrným povrchem. Křemičitý úlet je vůči cementovému kameni aktivní plnivo, pevnost je zvýšena v důsledku pucolánové reakce za tvorby kalciumhydrosilikátů (CSH). Doporučená maximální dávka křemičitého úletu je do 5% hmotnosti cementu. S ohledem na zachování potřebné imunity oceli krycí vrstvou betonu ($\text{pH} \geq 12$). Křemičitý úlet je přidáván nejčastěji ve formě vodní suspenze (1:1), což je lepší pro omezení nežádoucích shluků a rovnoměrného rozptýlení částic křemičitého úletu. [4]

3.2.4. Kamenivo

Kamenivo do betonů všeobecně se používá jako plnivo. Hlavní funkcí je utvoření tlakově odolné a pevné kostry, která vznikne zaklíněním zrn kameniva. [4]

Nejdůležitější u kameniva je, aby jeho pevnost byla větší než pevnost cementového tmele. Pro vysokopevnostní betony používáme kvalitní a hutná kameniva. Hlavní parametry, na které musíme dbát při návrhu receptury, jsou celková křivka zrnitosti, požadovaná pro

HSC, geometrický tvar kameniva, mechanické vlastnosti (vysoká pevnost kameniva) a modul pružnosti hrubého kameniva a spolupůsobení cementového tmele a kameniva. [6]

U křivky zrnitosti by měla být dodržena především plynulost, což by mělo být prokázáno síťovým rozborem. Tvar křivky zrnitosti by se měl poté dlouhodobě dodržovat. Použitím prachu a jemných částic zvyšujeme nároky týkající se přísad a/nebo vody. [6]

Maximální velikost zrna kameniva je 16 mm. U pevnostních tříd vyšších než C 80/95 jen 11 mm. Největší velikost zrn kameniva je nutno dodržovat, protože když dochází ke smršťování cementového tmele, vznikají tak mikrotrhliny v okolí zrn hrubého kameniva (kamenivo se nesmršťuje). Příliš jemnozrnné betony se vyznačují vyšším dotvarováním a smršťováním, také s narůstajícím počtem jemných částic roste spotřeba cementu. [6]

Drcené kamenivo, díky větší soudržnosti, je doporučováno pro hrubé frakce třídy C70/85 a výše. Hrubá zrna musí dosahovat vhodné granulometrie, být očištěná od prachových částic, nemají obsahovat reaktivní oxid křemičitý a v neposlední řadě musí dosahovat odpovídající pevnosti. Ideální jsou drcené a následně prané frakce s výjimkou čedičového kamene, který lze použít nepraný. [6]

Drobné kamenivo se doporučuje spíše těžené prané s plynulou granulometrií s vyšším obsahem středních a větších částic, aby společně s jemnými příměsemi, pokud je použijeme, vytvořily plynulou křivku zrnitosti. [6]

Doporučení druhu horniny se často zakládá na dostupnosti materiálu v regionu. Není doporučeno používat minerály s hrubými zrny a kluznými plochami. Materiály s větším množstvím slídy pro vysokou potřebu vody a nízkou pevnost. V našich podmínkách se osvědčil čedič pro použití jako hrubé a také i střední kamenivo. [6]

U modulu pružnosti kameniva máme dvě možnosti. Pokud je modul pružnosti kameniva a ztvrdlého cementového tmelu stejný, dosahujeme vysokých pevností betonu, v případě rozdílných modulů pružnosti u cementu a kameniva se snižuje křehkost betonu. Je zakázáno použití recyklovaného kameniva. [6]

3.2.5. Cement

Konečné pevnosti vysokopevnostních betonů závisí na druhu cementu. Hlavními faktory, které ovlivňují výsledné pevnosti betonu, jsou vedle vodního součinitele složení slínku a jemnost mletí cementu. Obecně, pokud cement vyhoví požadavkům dle ČSN EN 197-1, je vhodný pro beton. Kontrola jakosti cementu se provádí dle ČSN EN 206-1. V zásadě se pro výrobu HSC používají stejná pojiva jako pro běžné betony. Platí to jednak pro rozdílné minerální složení slínku portlandského cementu, tak i pro přimletí latentně hydraulicky působících a pucolánových materiálů. Pokud je velká rozdílnost v množství pojiv ve srovnatelných složeních směsi, je to dáno regionální dostupností a mnohdy vybíráme pojivo na základě ekonomické kalkulace. Proto při sestavování receptury musíme dbát jak na technickou tak i na ekonomickou stránku. [6]

Pro mosty se používají portlandské cementy, jež zajišťují v betonu lepší prevenci před korozí výztuže v důsledku vyšší alkalické kapacity odpovídajícího cementového tmele. Obvykle se množství cementu pohybuje někde mezi 350 - 500 kg/m³ a musí být optimální v závislosti na požadovaných vlastnostech, jako jsou například pevnost ztvrdlého betonu a nebo zpracovatelnost čerstvého betonu. Na zřetel však musíme brát vznik trhlin a vývoj hydratačního tepla, proto se doporučuje cement v množství 400 - 450 kg/m³ pro třídy vysokopevnostních betonů do třídy C 80/95. Ovšem, pokud použijeme křemičitý úlet nebo metakaolin, je možno snížit množství cementu pod 400 kg/m³, musíme však dbát na zachování alkalické kapacity cementového tmele. [6]

3.2.6. Vlákná do betonu

Hlavními obecnými nevýhodami betonu jsou jeho křehkost a smršťování. Konstrukce tak mohou být vystaveny vzniku trhlin. Tato nežádoucí narušení konstrukce HSC můžeme zlepšit pomocí rozptýlené výztuže s vysokým modulem pružnosti. Rozptýlená výztuž může mít pozitivní vliv na konstrukce s velkým smykovým namáháním a popřípadě s ní lze nahradit pracnou a složitou betonářskou výztuž. Dosti vysoký modul mají i skleněná vlákna s velkou odolností vůči alkalickému prostředí. [6]

3.3. Použití vysokopevnostních betonů v praxi

Zejména Japonsko, USA, Čína, Jižní Korea a některé další východoasijské země se prezentovaly řadou zdařilých staveb z HSC , a to nejen mostů a jiných inženýrských konstrukcí, ale i výškových budov. [13]

Bilance:

- HSC s pevností v tlaku až 120 MPa byl použit – zatím vždy víceméně experimentálně – u většího počtu inženýrských konstrukcí (mostů, nádrží, ochranných galerií, ropných těžních plošin apod.).
- HSC s pevností v tlaku až 150 MPa byl experimentálně použit v prvcích, hlavně sloupech, řady výškových železobetonových budov, většinou rezidenčních komplexů.
- Úsilí nyní směřuje k vývoji a konstituování betonu s tlakovou pevností do 120 MPa, případně do 150 MPa, který by byl ovšem výrazně levnější než UFC (Ultra-High-Strength Fiber-Reinforced Concrete), který lze „běžně“ vyrábět s pevností až 200 MPa. Proto je cílem výzkumu vyvinout beton, u něhož by šla zvyšovat jak pevnost, tak i z ní odvozená trvanlivost. [13]

3.3.1. Park City Musashi Kosugi v Tokyu

Kvůli potřebě betonu vysokých pevností, které umožňují zmenšit průřezy konstrukcí a zvyšovat rozpětí těchto konstrukcí, hlavně kvůli potřebě stavět čím dál tím větší mrakodrapy byl v Japonsku vyvinut beton známý jako APC (Advanced Performance Composites).

Do APC se používá cement, který modifikujeme křemičitým úletem. Pro tento projekt byl vyvinut také zcela nový typ plastifikátoru, jenž zajišťuje ztekucení čerstvého betonu i při vodním součiniteli 0,15. Tento beton, s charakteristickou tlakovou pevností 150 MPa, byl poprvé použit na nosné konstrukce věží D a E, vysokých 204 a 163 m, komplexu výškových budov, které jsou dosud nejvyššími rezidenčními mrakodrapy v Japonsku (Obr. 7). [13]



Obr. 7: Pohled na Musashi Kosugi Tower v Tokyu [13]

3.3.2. Trump International Hotel and Tower v Chicagu

Beton vyšší pevnosti než standardních 69,5 MPa byl použit v rámci nosné konstrukce TIHT takto: sloupy a stěny jádra až do 51. podlaží (do 202 m) jsou z betonu pevnosti 83 MPa (v 90 dnech), pro některé exponované části ztužidel je užit beton pevnosti 110 MPa (v 90 dnech). [13]

Použitý SCC (samozhutnitelný beton) pevnosti 110 MPa měl konzistenci odpovídající stupni F5, min. rozlítí bylo 600 mm, pro snížení hydratačního tepla beton obsahuje směs portlandského i struskového cementu, také ještě létající popílek a křemičitý úlet. Jako kamenivo byl použit drcený dolomitický vápenec s maximální velikostí zrna 12 mm. Vodní součinitel měl hodnotu 0,25. Směs obsahovala jak plastifikátor, tak i superplastifikátor, zpomalovač tuhnutí a také přísadu prodlužující zpracovatelnost (VMA – viscosity modifying admixture). Tato budova se stává se svými 415 m nejvyšší betonovou budovou světa (Obr. 8). [13]



Obr. 8: Trump International Hotel and Tower v Chicagu [13]

Ukazuje se, že vysokopevnostní beton má značný potenciál na využití u výškových budov. Hlavně díky již zmíněné možnosti zeštíhlení nosných konstrukcí a možnosti většího rozpětí stropních konstrukcí, což zvýší jak užitnou plochu podlahy (štíhlé nosné konstrukce), tak i prosvětlení celého prostoru (štíhlejší nosné konstrukce a větší rozpětí stropních konstrukcí). [13]

Budovy postavené pomocí vysokopevnostních betonů mají velkou variabilitu. Použití vysokopevnostních betonů je ekonomické i přes velkou technologickou náročnost a absenci zavedených standardů. Tato úspornost při použití HSC by měla být rozhodující v období velkého šetření u investorů. [13]

4. Teoretická východiska pro vysokopevnostní alkalicky aktivované systémy

Jelikož dosud neexistují normové postupy pro zkoušení nebo metodiky pro návrh směsí alkalicky aktivovaných systémů, je nutné před započítím praktických pokusů stanovit kritéria pro jednotlivé složky směsí na základě dostupné literatury nebo podle zásad pro navrhování vysokopevnostních betonů.

4.1. Superplastifikátory

V literatuře vztahující se k výzkumu použitelnosti plastifikátorů v alkalicky aktivovaných systémech byly sledovány vlivy čtyř různých druhů superplastifikátorů, a to na bázi polykarboxylátové (PC2), derivátu melamin formaldehydu (M), derivátu naftalen formaldehydu (NF) a vinyl kopolymeru (V). [15]

Dávky přísad se pohybovaly v rozsahu od 0 do 2 % hmotnosti pojiva. Superplastifikátory, vzhledem k jejich nestabilitě ve vysoce alkalickém prostředí, nebyly schopny modifikovat reologické parametry vodního skla v alkalicky aktivovaných struskových směsích. Po zařazení derivátu naftalenu si směs uchovala své ztekucovací vlastnosti v tomto alkalickém roztoku, u těchto systémů však následně došlo k poklesu meze kluzu v důsledku tvarové tuhosti. [15]

Díky těmto poznatkům jsem se rozhodl použít v rámci výzkumu právě tyto naftalen deriváty. Navzdory tomu, že se u nich projevilo snížení meze kluzu. Toto snížení meze kluzu by mělo být anulováno použitím vhodných jemných podílů a vhodného kameniva.

4.2. Kamenivo

Jelikož se v problematice alkalicky aktivovaných systémů řeší otázka použití různého druhu kameniva pouze minimálně (tedy s výjimkou možnosti použití recyklátů) rozhodl jsem se při návrhu směsi řídit se zásadami pro přípravu vysokopevnostních betonů.

4.3. Vodní součinitel

Snahou u vysokopevnostních směsí je snížení vodního součinitele pro dosažení vyšších pevností, ale nesmíme ho snížit příliš, neboť nízký vodní součinitel má za následek nezhydratování všech zrn pojiva.

5. Použité suroviny

Při výběru surovin bylo rozhodováno hlavně na základě předešlých výzkumů uskutečněných na katedře Stavebních hmot a diagnostiky staveb, FAST, VŠB - TUO. Jako suroviny do experimentu, jež blíže popíšu v následujících kapitolách, byly zvoleny: plastifikátory Glenium sky 665, Rheobuild 1026 a Castament FS 65, dále jemné podíly ve formě metakaolinu (N-Meta, I-Meta) a mikrosiliky, jako plnivo korund, žula a čedič a dále také skleněná vlákna.

5.1. Referenční směs

Jako referenční recepturu jsem si zvolil dostatečně ověřenou recepturu z předchozích výzkumných prací provedených v laboratoři stavebních hmot FAST, VŠB – TUO. Jedná se o směs alkalicky aktivované vysokopecní granulované velmi jemně mleté strusky pomocí upraveného roztoku sodného vodního skla.

5.1.1. Vysokopecní granulovaná struska (VGS)

Vysokopecní struska vzniká jako odpadní produkt výroby surového železa. Pro zachování latentně hydraulických vlastností je nutno žhavou strusku prudce ochladit, granulovat, čímž dojde k zachování vysokého obsahu skelné fáze, jenž značně ovlivňuje její hydratační schopnosti. V současnosti se tento materiál plně recykluje, využívá se především ve stavebnictví. Tato struska má větší obsah oxidu křemičitého a železa než ocelářská struska. Při výrobě 1 tuny surového železa vznikne asi 350 - 500 kg VGS. Využíváme ji k výrobě struskoalkalických cementů a betonů. [7]

Ve výzkumu jsem používal strusku SMS 400 velmi jemně mletou vysokopecní granulovanou strusku od firmy Kotouč Štramberk, spol. s.r.o. Je to latentně hydraulické práškové pojivo bílé barvy.

5.1.2. Aktivátor

Jedná se o roztoky, jež rozpouštějí původní strukturu pojiva a startují hydratační procesy. [7] V experimentu byl použit aktivátor připravený ze sodného vodního skla firmy Kittfort, jež bylo upraveno roztokem hydroxidu sodného (NaOH) tak, aby se výsledný silikátový modul takto vytvořeného aktivátoru blížil hodnotě 2,0.

5.1.3. Voda

Záměsová voda se řídí podle normy ČSN EN 1008 a měla by splňovat v normě uvedené požadavky. Používal jsem pitnou vodu z vodovodního řadu, která daným kritériím vyhovuje. [4]

5.1.4. Normalizovaný písek

Dle normy ČSN EN 196-1 jsem použil pro referenční směs normalizovaný písek CEN, EN 196-1. Tento referenční písek je písek přírodní křemičitý obsahující zaoblené části, s obsahem minimálně 98 % oxidu křemičitého, frakcí 0/2 a obsahem vlhkosti pod 0,2 %. [16]

5.2. Superplastifikátory

V experimentu byly použity superplastifikátory Glenium sky 665, Rheobuild 1026 a Castament FS 65. Jejich stručná charakteristika je uvedena v následujících podkapitolách.

5.2.1. GLENIUM® SKY 665

Superplastifikátor (Tab. 2), který je všestrannou přísadou na bázi polykarboxyláteterů, je určený především pro výrobu transportbetonu. Jeho předností je kvalitní plastifikační účinek a skvělé uchování konzistence, především v betonových směsích F3 až F6, které členíme podle tříd konzistence podle normy ČSN EN 206. [10]

Tab. 2: Technické údaje superplastifikátoru GLENIUM® SKY 665 [10]

Technické údaje	
skupenství	kapalina
barva	hnědá
obj. hmotnost (při +20°C)	1,05 ± 0,02 g/cm ³
hodnota pH (při +20°C)	6,0 ± 1,0 po výrobě
obsah chloridů max.	0,1 % hm.
obsah alkálií max. (ekvivalent Na ₂ O)	1,1 % hm.

Superplastifikátor se do betonu přidává v době, kdy dodáváme betonu poslední třetinu dávky záměsové vody. Do směsi se musí přísada důkladně vmíchat, aby bylo dosaženo požadovaných vlastností. Výrobce doporučuje dávkování 0,2 - 0,3 % hmotnosti pojiva. [10]

5.2.2. RHEOBUILD® 1026

Superplastifikátor (Tab. 3), který je přísadou určenou pro transportbetony, pro provzdušněné betonové směsi, na výrobu prefabrikovaných výrobků a jež také nachází použití při injektáži mikrocementy Rheocem®. V kombinaci s přísadou MICRO-AIR®, která slouží k provzdušnění betonu, dokáže velmi dobře udržet strukturu mikropórů, jež vznikly za pomoci provzdušňovací přísady. [11]

Tab. 3: Technické údaje superplastifikátoru RHEOBUILD® 1026 [11]

Technické údaje	
skupenství	kapalina
barva	tmavě hnědá
obj. hmotnost (při +20°C)	1,17 g/cm ³
obsah chloridů max.	≤ 0,1 %
obsah alkálií max. (ekvivalent Na ₂ O)	≤ 5,6 %

Tato přísada se má pro nejlepší účinek přidávat do hotového betonu, doporučení uvádí zamíchat plastifikátor přímo na stavbě těsně před vyprázdněním automíchače. Každopádně musíme dbát na minimum času potřebného k promíchání. Ten se liší, jedná-li se o betonárnu nebo o automix. V betonárně se tento čas pohybuje okolo 30 - 60 vteřin podle intenzity míchacího jádra, kdežto v automixu se tento čas pohybuje okolo 5 - 8 minut, ovšem záleží na množství míchané betonové směsi. Dávkování je doporučeno mezi 0,1 - 3,5 % hmotnosti pojiva. Dávkování je ovlivněno mnoha aspekty, od požadované zpracovatelnosti, přes druh pojiva, až po technologii výroby atd. [11]

5.2.3. Castament® FS 65

Je to sypký prášek, sušený rozprašováním z polymerizačního produktu na bázi polyethylenglykolu. Castament (Tab. 4) je polymerní dispergační prostředek pro zlepšení žáruvzdornosti. Tato přísada zlepšuje vlhkost směsi, při redukci vody a zlepšení počátečních pevností. Díky tomu, že zlepšuje žáruvzdornost, může být použit v hlinitanových cementech používaných do žárobetonů. [12]

Tab. 4: Technické údaje superplastifikátoru Castament® FS 65 [12]

Technické údaje	
skupenství	pevné (prášek)
barva	mírně intenzivní pastelové barvy
Ztáta sušením [%]	Max. 2,00
obj. hmotnost (při +20°C)	0,3 - 0,5 g/cm ³
hodnota pH (při +20°C)	20% roztok: 6,5-8,0

Dávkování této přísady záleží na hmotnosti žáruvzdorného materiálu. Ve vztahu k němu je doporučeno dávkování 0,05 - 0,15 hmotnostních procent. Musí se skladovat v originálním a neporušeném obalu, a měl by se skladovat v suchu při běžných teplotách. Měl by být chráněn před vysokými teplotami nad 40° C. Doba použitelnosti je jeden rok od výroby. [12]

5.3. Jemnozrnné příměsi

Jedná se o pevné látky, které ovlivňují vlastnosti betonu v čerstvém i ztvrdlém stavu. U čerstvého betonu se jedná zejména o konzistenci a zpracovatelnost a u ztvrdlého betonu o pevnost, hutnost, trvanlivost a odolnost proti působení chemicky agresivního prostředí. Nejčastěji se používají strusky, vápenec, kamenné moučky, mikrosilika a popílek. Pro experiment byly zvoleny metakaoliny a mikrosilika.

5.3.1 Metakaoliny

Jsou to pucolány vyráběné výpalem kaolinitických jíílů, kaolinů apod. při teplotách 600 - 900 °C. Pucolán je hlinitokřemičitý materiál s velmi malými pojivovými vlastnostmi, kterých dosáhne po reakci s $\text{Ca}(\text{OH})_2$ za účasti vlhkosti. Metakaolin je možno použít jako aktivní příměs do betonu, kdy dokáže reagovat s hydroxidem vápenatým, což je produkt hydratace slínkových minerálů, přičemž vznikají hydratované kalcium silikáty a alumináty a ty mají vliv na zlepšení kvality betonu, jeho fyzikálně-mechanických a chemických vlastností, zvýšení pevnosti, zlepšení nasákavosti a reologických vlastností betonu. Dochází také ke snížení možnosti vzniku výkvětů. Metakaolin dokáže také působit jako náhrada pojiva a to asi do deseti procent hmotnosti pojiva, díky tomu navýšíme odolnost povrchu vůči působení vody a chemických rozmrazovacích látek, odolnost proti průniku tlakové vody a odolnost proti agresivnímu prostředí. Dokáže také nahradit mikrosiliku v betonových směsích. Také se dá použít do vápenných malt nebo omítek, kde zvýší mechanické vlastnosti, jako je třeba

pevnost, a také zlepši mrazuvzdornost. Aplikací těchto materiálů dokážeme také zlepšit tepelné a někdy i vlhkostní vlastnosti omítek. [9]

Byly použity metakaoliny I-Meta 4 a N-Meta 4 od firmy Sedlecký kaolin, a.s.

5.3.2. Mikrosilika

V 50. letech byla mikrosilika v Norsku použita poprvé jako příměs do betonu a její zakomponování do směsi zlepšilo pevnosti i odolnost proti působení síranů. [8]

Tento materiál je vedlejším produktem výroby křemíku, ferrosilicia a dalších slitin křemíku. Je to šedý (případně šedobílý či černošedý) velmi jemný prášek, který se skládá hlavně z amorfního oxidu křemičitého. Obsah tohoto oxidu se pravidelně pohybuje mezi 80 až 98 %. Produkce ferrosilicia se účastní i jiné prvky, a to, jak už je z názvu slitiny zřejmé, především železo. [8]

Mikrosilika obsahuje sférické částice s průměrem okolo 0,15 μm , tvořící shluky. Po přidání do betonu vylepšuje jeho reologické vlastnosti. U dávkování 10 % hmotnosti pojiva tak na zrno cementu připadá množství 50 000 až 100 000 zrn mikrosiliky. Zrna cementu jsou tak obalena zrny mikrosiliky, což zvyšuje vnitřní povrchové síly a s tím související nárůst soudržnosti betonu. To ovšem znamená větší tuhost při ukládání betonu, což je vyrovnáváno větší hodnotou sednutí. Tento fakt je důvodem, proč je vhodné mikrosiliku použít společně s plastifikátory nebo superplastifikátory. Pokud dodáme směsi s mikrosilikou energii například čerpáním, dusáním, vibrací nebo hlazením, účinkují kulovité částice mikrosiliky jako kuličková ložiska a nastává celkové vylepšení pohyblivosti směsi. [8]

Ale i měrný povrch, který navyšuje množství potřebné záměsové vody, má velký vliv na zpracovatelnost. Mikrosiliku řadíme k pucolánům, které reagují chemicky s $\text{Ca}(\text{OH})_2$ za vzniku dostatku C-S-H gelu (kalcium-silikátového-hydrátu), což má za následek zvýšení pevnosti a lepší chemickou odolnost konečného kompozitu. [8]

5.4. Kamenivo

Do experimentu byly jako náhrada za křemičitý normový písek vybrány kameniva čedič, žula a korund.

5.4.1. Čedič

Tento druh kameniva je také znám jako bazalt. Je to výlevná vyvřelina s typickou porfyrickou nebo sklovitou jemnozrnnou strukturou, tato struktura se vyvíjí díky rychlému tuhnutí magmatu na zemském povrchu. Běžně je šedý nebo černý. Obsahuje hlavně minerály plagioklas, pyroxen a olivín. Tvoří z velké části zemskou kůru. Je to obzvláště tvrdý materiál, odolný vůči chemickým látkám a obrusu. Obvykle je jeho odlučnost sloupcovitá a textura je proudovitá nebo všesměrná. [4, 18, 19]

Na naší planetě se vyvíjí především čedičová magmata dekompresním tavením pláště. Mimo zemský povrch se čedič vyskytuje na Měsíci a na jiných tělesech sluneční soustavy, např. na Marsu, Venuši a také i na asteroidu Vesta. Horniny, které mají sice stejné složení, ale hrubozrnnou strukturu se nazývají diabas nebo gabro. [4, 18, 19]

Čedič se pro své výborné mechanické vlastnosti používá ve stavebnictví jako základový, ale i podkladní materiál. Čedičový netříděný kámen můžeme využít na základní desky, zídky, opěrné zdi, venkovní dlažbu a dekorativní prvky. Čedičový šterkový kámen neboli makadam se ve stavebnictví používá na podklad cest, silnic, zámkových dlažeb, podklad hřišť nebo jiných ploch, kde je kladen důraz na rychlou propustnost vody. Je možné jej využít jako podkladní vrstva základních stavebních desek nebo jako drenážní prvek, aby se zabránilo podmáčení terénu. Další použití je jako šterk a kamenivo do betonů. Nově se také bazaltová vlákna využívají jako výztuhy konstrukčních dílů stativů. [4, 18, 19]

Mnou zvolená frakce kameniva pro tento výzkum byla 0/4 z důvodu zásad pro vysokopevnostní betony, kde by se měla používat malá frakce kameniva z důvodu lepšího zaklínění kamenů a vytvoření pevnější kostry.

5.4.2. Žula

Tato hornina je nazývána též jako granit. Jako žulu označujeme hlubinné vyvřelé horniny, které mají ve svém složení velké zastoupení draselných živců, kyselých plagioklasů a křemene. Žula je většinou do šeda zbarvená s modrým odstínem, známe také i rapakivi neboli červené žuly. Granity mají stejnoměrnou zrnitost, jsou eugranitické, někdy porfyrické. Mezi hlavní minerální prvky žul patří křemen, živec, biotit a muskovit. Z přímíšenin můžeme najít v granitu apatit, zirkon, andalusit, chlorid, sagenit a limonit. Ve složení žul převládá draselný živec nad plagioklasy. Porfyrová žula má větší porfyrické vyrostlice ortoklasu. Žula má svůj výlevný a žilný ekvivalent, ryolit je výlevným ekvivalentem a žulový porfyr je žilným ekvivalentem. [20, 21, 22]

Hustota této horniny je přibližně $2,80 \text{ g/cm}^3$. Žula má kvádřovitou odlučnost, místy tlustě lavicovitou, odlučnost může být rovněž sloupcovitá a kulovitá, pro zvrásněné oblasti je charakteristická nepravidelně polyedrická odlučnost. [20, 21, 22]

Žula je hornina kvalitní, elegantní a nadčasová, což z ní dělá atraktivní materiál. Má výborné funkční vlastnosti a dlouhou životnost. Také se vyznačuje extrémní tvrdostí a hlavně vyniká rezistencí proti poškrábání nebo jinému mechanickému poškození, je nenasákavá, odolná proti vysokým teplotám, agresivním látkám či mastnotám a její údržba je snadná. Díky mrazuvzdornosti lze žulu využít jak v interiéru, tak v exteriéru. Je vhodná především na dlažby, obklady, kuchyňské linky, schody, koupelny, obklady krbů, police a stoly, pomníky, grilovací desky, atd. Může sloužit i jako stavební kámen a rozpukané žuly se používají na štěrk. [20, 21, 22]

Žulu můžeme najít v hlubinných tělesech. Pevninskou zemskou kůru z velké části tvoří Granitoidy. V České Republice se žula nachází v Krušných horách, Jizerských horách, Krkonoších, Českomoravské vrchovině, Jeseníkách. [20, 21, 22]

5.4.3. Korund

Chemický vzorec korundu je Al_2O_3 . Ve složení korundu jsou nepatrné příměsi Cr, Fe^{2+} , Fe^{3+} , Ni, Ti. Jeho soustava je klencová. Nejčastěji vytváří zrna a valouny písku, tvoří také destičkovité, sloupcovité a soudečkovité krystaly. Barva korundu je velice proměnlivá. Běžný korund je šedý, hnědavý, nažloutlý, namodralý a narůžovělý. Nejcenější odrůda jeho drahokamu je rubín, častější safír má vydatně modrou barvu, může také mít odstín do fialova, žluta, zlatava i zelena. Zrnitý černý nebo šedočerný korund se nazývá smírek, bezbarvý korund je leukosafír. Korund není štěpný, je v kyselinách nerozpustný, chemicky odolný a nemagnetický. Má tvrdost 9 což ho činí druhým nejtvrdějším minerálem na Mohsově stupnici tvrdosti, je křehký a jeho hustota je $4,0 - 4,1 \text{ g/cm}^3$. [23, 24, 25]

U nás ho nalezneme v sodno-draselných pegmatitech u Třebíče a v Drahoníně, v Mysliboři u Telče a v Dolních Borech. Korund se používá jako brusný materiál pro svou tvrdost [23, 24, 25].

5.4.4. Normalizovaný písek

V experimentu byl použit normalizovaný písek, jenž je podrobněji popsán v kapitole 5.1.4.

5.5. Skleněná vlákna

Nevýhodou betonu jeho křehkost a smršťování, což se dá zlepšit pomocí rozptýlené výztuže. V experimentu jsem použil skleněná vlákna, která mají relativně vysoký modul pružnosti a jsou odolná vůči alkalickému prostředí. Po odborné konzultaci jsem se rozhodl pro využití ANTI-CRACK HP-12MM a ANTI-CRACK HP-6MM od firmy Saint-Gobain Vetrotex Cem-FIL® SKLOCEMENT BENEŠ s.r.o. Tato přísada se běžně dávkuje v množství 3-10 kg/m³ betonu. [26]

Výhody těchto vláken:

- Zachování větší tuhosti běžných betonových směsí,
- Zvýšení odolnosti proti nárazu a odolnost proti oděru,
- Zvýšení pevnosti v ohybu. [26]

6. Zkušební postupy

V následující kapitole jsou popsány zkušební postupy, které jsem aplikoval pro zjištění konzistencí čerstvých směsí, pevností v tahu za ohybu, pevností v tlaku a modulu pružnosti.

6.1. Příprava směsi

Všechny složky směsi dle receptury se naváží na váze s přesností ± 1 g. Každá směs se míchá mechanicky za použití míchačky. Postup míchání je následující. Nejprve se do nádoby nalije voda a aktivátor, dále VGS a popřípadě superplastifikátor nebo jemný podíl a dáváme pozor na to, aby nedošlo ke ztrátám některé z těchto složek. Spustíme míchání nízkou rychlostí, což je cca 65 otáček za minutu, směs se míchá 1 minutu, poté následuje 30-ti vteřinové přerušení míchání a následuje míchání po dobu 1 minuty. Následuje druhá fáze, kdy pokračuje míchání nízkou rychlostí po dobu 30 vteřin poté se za stálého míchání po dobu dalších 30-ti vteřin přidává písek nebo jiné kamenivo, následně se míchání přepne na vysokou rychlost, což je cca 125 otáček za minutu, po dobu 30-ti vteřin se pokračuje v míchání. Následuje 90-ti vteřinové zastavení míchačky, kdy můžeme očistit směs, která zůstala na stěnách a dně nádoby s tím, že ji umístíme do jejího středu. Poté se v míchání pokračuje 60 vteřin vysokou rychlostí. [16]

V případě výroby velkých těles pro zkoušení betonů se na přípravu směsí použije kbelík a ruční stavební míchadlo. Doby míchání byly zachovány.

6.2. Zhotovení zkušebních těles

Tělesa se zhotovují okamžitě po dokončení přípravy směsi. Forma se položí na vibrační stolek a pomocí vhodné lžice plní jednotlivé oddíly formy v první ze dvou vrstev. Pomocí stěrky se směs rovnoměrně rozprostře. Následuje vibrování, kdy se sepne magnet ve vibračním stolku, aby na něm ocelová forma pevně držela, a začíná zhutňování směsi po dobu dvou minut. Poté pomocí lžice doplníme do formy druhou vrstvu směsi, uhladíme ji a zhutňování opakujeme. V průběhu druhého zhutňování doplníme směs tak, aby byla forma naplněna až po okraje. Formu s namíchanou směsí označíme štítkem a uložíme do vlhkého prostředí, kde dojde ke ztvrdnutí směsi. [16]

6.3. Ošetření zkušebních těles

Vyjmutí zkušebních těles se provádí opatrně, aby nedošlo k jejich poškození. K vyjmutí těles z forem lze použít k tomu určené pomůcky. Pro zkoušku po 1 dni se odformování těles provádí nejdříve 20 minut před provedením zkoušky. Pro zkoušku po 7 nebo po 28 dnech se odformování provádí po 20 nebo 24 hodinách od uložení směsi do forem. Tělesa pro zkoušku 1 denní pevnosti, pokud je bylo potřeba vyjmout z forem dříve, se do zkoušky přikryjí vlhkou tkaninou. Tělesa, která jsou určena k pozdějším zkouškám, se před uložením do vody označí náležitě třeba vodovzdorným inkoustem nebo jiným patřičným způsobem. Takto označená tělesa se neprodleně uloží do nádrže s vodou o teplotě $20,0 \pm 1$ °C. Tělesa by měly být uložena na roštích a v takových vzdálenostech, aby voda omývala všechny strany. Voda by během uložení neměla klesnout od horní hrany tělesa pod 5 mm. V průběhu uložení těles je zakázáno vyměnit více než 50% vody. V nádrži musíme zajistit stálou teplotu vody, pokud je v nádrži po dobu uložení použita cirkulace vody, tak nesmí způsobovat viditelnou turbulenci. [16]

6.4. Stanovení konzistence čerstvé směsi

Pro tuto zkoušku je zapotřebí střešací stolek, kovový kužel, dusadlo, vhodné měřidlo, zednická lžice a špachtle. Střešací stolek se skládá z rámu, tuhé příruby a desky, vodorovné hřídele a zvedací vačky a zvedané tyče, což jsou hlavní části. Kovový kužel je z korozi vzdorné oceli nebo mosazi vysoký 60 mm a vnitřním průměru 100 mm ve spodní části a vnitřním průměru 70 mm v horní části. Dusadlo je z tuhé tyče kruhového průřezu z nenasákavého materiálu o průměru 40 mm a délce 200 mm. Měřidlo by mělo být schopno měřit do průměru 300 mm s přesností 1 mm. Před každou zkouškou musíme desku a vnitřní povrch kužele navlhčit a otřít do sucha. Tyto povrchy se poté natřou tenkou vrstvou

minerálního oleje. Kužel se umístí do středu desky střešacího stolku a naplníme jej směsí ve dvou vrstvách. Každou vrstvu udusáme 10 lehkými údery dusadla tak, aby se kužel rovnoměrně naplnil. Přitom kužel přitlačujeme jednou rukou k desce. Po udusání zarovnáme směs v kuželi podle horního okraje pomocí špachtle. Po 15 vteřinách kužel zvedneme a spustíme střešací stolek. Patnácti nárazy se směs rozlije po desce, frekvence jednoho nárazu je 1 vteřina, a my změříme průměr koláče ve dvou na sebe kolmých směrech pomocí vhodného měřidla. Výsledek je aritmetický průměr v mm s přesností na 1 mm. [17]

6.5. Stanovení pevnosti v tahu za ohybu

Tato zkouška může být provedena buďto přímo na stroji pro stanovení pevnosti v tahu za ohybu, nebo použitím vhodného nástavce do zkušebního stroje pro stanovení pevnosti v tlaku. Každopádně stroj na tuto zkoušku musí jednak umožňovat zatěžování do 10 Kn/s s přesností $\pm 1\%$ vynaloženého zatížení v horních 4/5 měřicího rozsahu při nárůstu zatížení 50 N/s. A také musí být vybaven přípravkem pro zkoušku tahu za ohybu, který je složen ze dvou válcových podpor průměru 10 mm, jejichž rozteč je 100 mm a třetího zatěžovacího ocelového válce, stejného průměru jako jsou podpory, uprostřed mezi oběma válcovými podporami. Tři vertikální roviny, které jsou v osách válců, musí být rovnoběžné i po celou dobu zkoušky, mající stejnou vzdálenost a neustále kolmé vůči ose zkušebního tělesa. Zkouška probíhá uložením trámečku do zkušebního stroje jednou boční stranou na válcové podpory takovým způsobem, aby podélná osa byla kolmá k válcovým podporám. Zatěžuje se kolmo protilehlá boční strana trámečku přes zatěžovací válec a je zvyšováno rovnoměrnou rychlostí 50 N/s dokud nedojde ke zlomení. Rozpůlené tramečky uchováme pod vlhkou tkaninou až do zkoušky pevnosti v tlaku. [16]

Pevnost v tahu za ohybu R_f , v MPa se vypočítá ze vztahu: (1)

$$R_f = \frac{1,5 \times F_t \times l}{b^3} \quad (1)$$

kde R_f je pevnost v tahu za ohybu v MPa,

b je strana čtvercového průřezu trámečku v mm,

F_t je zatížení vynaložené na střed trámečku při zlomení v N,

l je vzdálenost mezi podporami v mm. [16]

6.6. Stanovení pevnosti v tlaku

Stroj pro tuto zkoušku musí mít vhodný pracovní rozsah, musí mít přesnost $\pm 1\%$ zatížení vynaloženého v horních 4/5 měřicího rozsahu při ověření podle EN ISO 7500-1. Musí také umožňovat nárůst zatížení 2400 ± 200 N/s. Nezbytnou součástí je ukazatel, který umožňuje odečítání hodnoty zatížení dosažené při porušení zkušebního tělesa i po odtížení zkušebního stroje. Toho je dosaženo pomocí paměťového záznamu u digitálních ukazatelů. Výslednice zatížení musí procházet středem zkušebního tělesa. Zkouška je provedena na polovinách trámečků, které vznikly při zkoušce pevnosti v tahu za ohybu. Poloviny trámečků se zkouší na bočních stranách a vystředí se bočními stranami na destičkách zkušebního stroje v rozmezí $\pm 0,5$ mm. Délkově se orientují způsobem, kdy koncové strany trámečků přesahují asi o 10 mm destičky. Zatížení se zvyšuje plynule rychlostí 2400 ± 200 N/s do porušení. [16]

Pevnost v tlaku R_c , v MPa se vypočítá ze vztahu: (2)

$$R_c = \frac{F_c}{a.c} \quad (2)$$

kde R_c je pevnost v tlaku v MPa,

F_c je nejvyšší zatížení vynaložené při porušení v N,

$a.c$ je plocha, na niž působí zatížení v mm^2 . [16]

6.7. Stanovení statického modulu pružnosti

Modul se stanoví na zařízení zkušebního lisu, který umožňuje vyvození požadovaného zatížení s nárůstem napětí v čase a jeho udržení na námi požadované hodnotě. Přístroje na měření změn délky musí mít měřící základnu větší nebo rovnu dvěma třetinám průměru vzorku zkušebního tělesa, a musí být připevněny takovým způsobem, aby byly měřené body stejně vzdálené od obou konců zkušebního tělesa ve vzdálenosti nejméně jednu čtvrtinu délky zkušebního tělesa. Postupujeme tak, že si nejprve stanovíme pevnost v tlaku na srovnatelných tělesech. Průměrná hodnota pevnosti v tlaku f_c určuje napětí ke stanovení statického modulu pružnosti. Zkoušené těleso vložíme dostředně do zkušebního lisu. Vyvodíme základní napětí σ_b , které je $0,5 \text{ N/mm}^2$ a zaznamenáme všechny hodnoty. Napětí plynule zvyšujeme cca $0,6 \text{ N/mm}^2$ za sekundu do jedné třetiny pevnosti betonu v tlaku. Napětí udržujeme po dobu jedné minuty a v průběhu následujících třiceti sekund zaznamenáme údaje na všech přístrojích. Poté snižujeme zatížení stejnou rychlostí, jako při zatěžování, na základní napětí. Tento cyklus nejméně dvakrát opakujeme se stejnou rychlostí zatěžování s udržováním napětí na mezních hodnotách σ_a a σ_b po dobu jedné minuty. Po dokončení

posledního cyklu se vyčká minutu při napětí σ_b a v následujících třiceti sekundách se zaznamenají poměrná přetvoření ε_b . Těleso opět zatížíme stejnou rychlostí na napětí σ_a a během třiceti sekund se zaznamenají poměrná přetvoření ε_a . [27]

Statický modul pružnosti v tlaku E_c v N/mm^2 se vypočítá ze vztahu (3):

$$E_c = \frac{\Delta\sigma}{\Delta\varepsilon} = \frac{\sigma_a - \sigma_b}{\varepsilon_a - \varepsilon_b} \quad (3)$$

kde σ_a je mezní zatěžovací napětí N/mm^2 ($\sigma_a = f_c/3$),

σ_b je základní napětí ($0,5 \text{ N/mm}^2$),

ε_a je průměrné poměrné přetvoření při horním zatěžovacím napětí,

ε_b je průměrné poměrné přetvoření při základním napětí. [27]

6.8. Stanovení zrnitosti - Sítový rozbor

Podstatou zkoušky je roztřídění materiálu pomocí sady sít do několika frakcí. Zkušební zařízení musí vyhovovat normě ČSN EN 932-5. K této zkoušce potřebujeme zkušební síta dle normy ČSN EN 933-2, pevně lícující víko a dno sady sít, váhy, nádoby, kartáče, štětce a prosévací přístroj. Postupujeme tak, že sloupцем sít otřásáme ručně nebo mechanicky. Pokud máme k dispozici mechanický prosévací přístroj, necháme prosévat zkušební materiál 30 minut. Po dokončení prosévání přichází na řadu vážení, kdy odebíráme jednotlivá síta, začínáme od největšího, a zaznamenáváme jednotlivé zůstatky materiálu na sítích (hmotnosti těchto zůstatků). Materiál zbylý na dně se zváží a označí jako P. Pokud se součet hmotností zůstatků na sítích a materiálu zbylého na dně liší o 1 %, musí se zkouška opakovat. Po dokončení vážení jednotlivých zůstatků se provede výpočet procentuálního propadu jednotlivými sítí a sestaví se křivka zrnitosti kameniva. [28]

7. Referenční směs

V rámci experimentu byla jako referenční směs použita ověřená receptura na bázi alkalicky aktivované vysokopecní strusky, její vlastnosti byly v úvodu praktické části opětovně testovány.

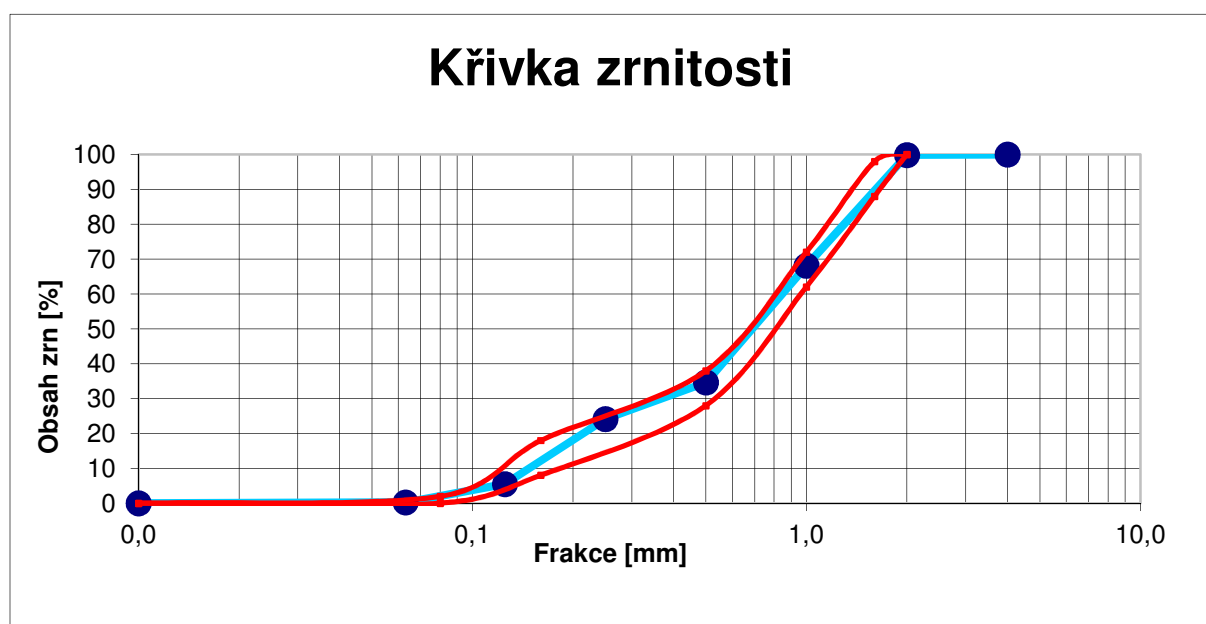
- Receptura:

450 g VGS

120 ml aktivátoru

90 g vody

1350 g normový písek



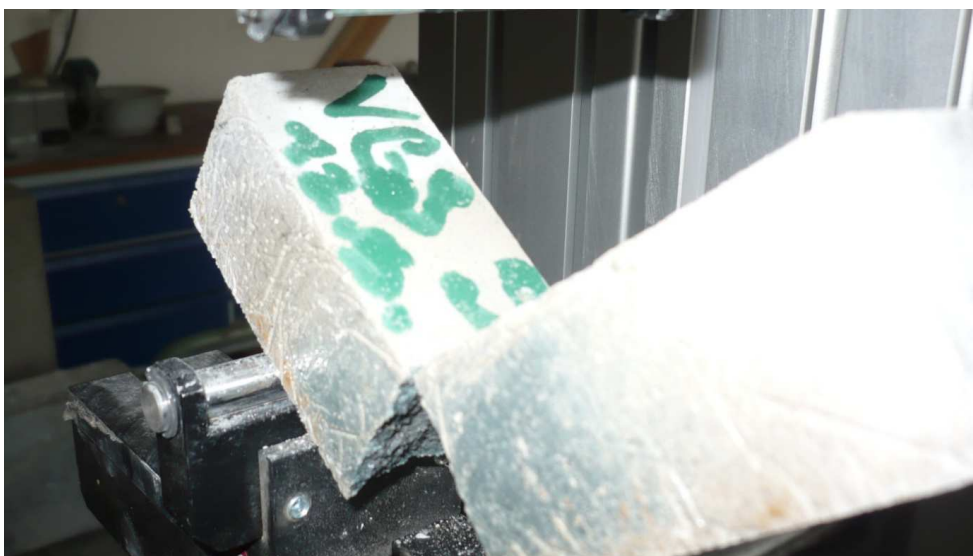
Obr. 9: Křivka zrnitosti normalizovaného písku CEN

- Výsledky:

Rozlití referenční směsi je 128 mm. Výsledné hodnoty referenční směsi po 1, 7 a 28 dnech vidíme v tabulce (Tab. 5). Průběhy zkoušek pevnosti v tahu za ohybu, pevnosti v tlaku a konzistence jsou zachyceny na Obr. 10 - 12).

Tab. 5: Výsledné charakteristiky referenční směsi

Základní směs									
1 denní pevnost									
Název vzorku	Rozměry			Tah (ohyb)		Tlak		Váha [kg]	Objemová hmotnost [kg/m ³]
	Výška [mm]	Šířka [mm]	Délka [mm]	Síla [kN]	Pevnost [MPa]	Síla [kN]	Pevnost [MPa]		
VGS 1	40,00	39,98	160,00	1,01	2,4	14,0	8,8	0,602	2350
7 denní pevnost									
Název vzorku	Rozměry			Tah (ohyb)		Tlak		Váha [kg]	Objemová hmotnost [kg/m ³]
	Výška [mm]	Šířka [mm]	Délka [mm]	Síla [kN]	Pevnost [MPa]	Síla [kN]	Pevnost [MPa]		
VGS 7	40,00	39,14	160,00	2,31	5,6	89,2	56,9	0,579	2310
28 denní pevnost									
Název vzorku	Rozměry			Tah (ohyb)		Tlak		Váha [kg]	Objemová hmotnost [kg/m ³]
	Výška [mm]	Šířka [mm]	Délka [mm]	Síla [kN]	Pevnost [MPa]	Síla [kN]	Pevnost [MPa]		
VGS 28	40,00	39,04	160,00	3,12	7,7	133,1	83,16	0,588	2360



Obr. 10: Referenční směs po zkoušce pevnosti v tahu za ohybu



Obr. 11: Referenční směs po zkoušce pevnosti v tlaku



Obr. 12: Referenční směs po provedení zkoušky rozlítí

8. Vliv superplastifikátorů

V následující kapitole jsem se zabýval vlivem vybraných superplastifikátorů na vlastnosti čerstvé i zatvrdlé směsi.

8.1. Konzistence

V počátku výzkumu vysokopevnostních alkalicky aktivovaných systémů jsem musel stanovit optimální množství použité vody v základním složení směsi. Množství záměsové vody určíme zkouškou rozlití. Dále budeme aplikovat superplastifikátory GLENium® SKY 665, RHEOBUILD® 1026, Castament® FS 65. Jejich konzistenci (rozlití směsi) porovnáme s referenční směsí.

8.1.1. GLENium® SKY 665

- Receptura:

- 450 g VGS
- 120 ml aktivátoru
- 81 g vody
- 9 g GLENium® SKY 665
- 1350 g normový písek

- Výsledky:

Rozlití směsi s GLENium® SKY 665 je 100 mm. Průběh zkoušky stanovení konzistence je zachycen na Obr. 13.



Obr. 13: GLENium® SKY 665 po provedení zkoušky rozlití

Použitím tohoto plastifikátoru nedošlo ke zvětšení rozlití, naopak se hodnota snížila z referenčních 128 mm na hodnotu 100 mm. Z tohoto důvodu nebude tento superplastifikátor v dalších částech mého výzkumu používán.

8.1.2. 5g RHEOBUILD® 1026

- Receptura:

450 g VGS
120 ml aktivátoru
85 g vody
5 g Rheobuild
1350 g normový písek

- Výsledky:

Rozlití směsi s 5 g RHEOBUILD® 1026 je 143 mm. Průběh zkoušky konzistence je zachycen na Obr. 14.



Obr. 14: RHEOBUILD® 1026 5g po provedení zkoušky rozlití.

U tohoto plastifikátoru bylo dosaženo zvětšení rozlití z hodnoty referenčních 128 mm na hodnotu 143 mm, na základě tohoto bude ověřen vliv tohoto superplastifikátoru na konzistenci směsi ve výrobcem maximálním doporučeném množství.

8.1.3. 15g RHEOBUILD® 1026

- Receptura:

450 g VGS
120 ml aktivátoru
75 g vody
15 g Rheobuild
1350 g normový písek

- Výsledky:

Rozlití směsi s 15 g Rheobuildu je 132 mm. Průběh zkoušky konzistence je zachycen na Obr. 15.



Obr. 15: RHEOBUILD® 1026 15g po provedení zkoušky rozlití.

Teoretický předpoklad zvětšení rozlití vlivem zvýšení množství superplastifikátoru se v tomto případě nepotvrdil, naopak, došlo ke snížení předchozí hodnoty rozlití na 132 mm.

V rámci experimentu ověřím vliv plastifikátoru na pevnosti v tahu a v tlaku, v případě, že plastifikátor při tomto dávkování výrazněji pevnosti neovlivní, budu v experimentu pokračovat pouze s nižším dávkováním této přísady.

8.1.4. 2g Castament® FS 65

- Receptura:

450 g VGS
120 ml aktivátoru
90 g vody
2 g Castament
1350 g normový písek

- Výsledky:

Rozlití směsi s 2 g Castament® FS 65 je 128 mm. Průběh zkoušky konzistence je zachycen na Obr. 16.



Obr. 16: Castament® FS 65 2 g po provedení zkoušky rozlití.

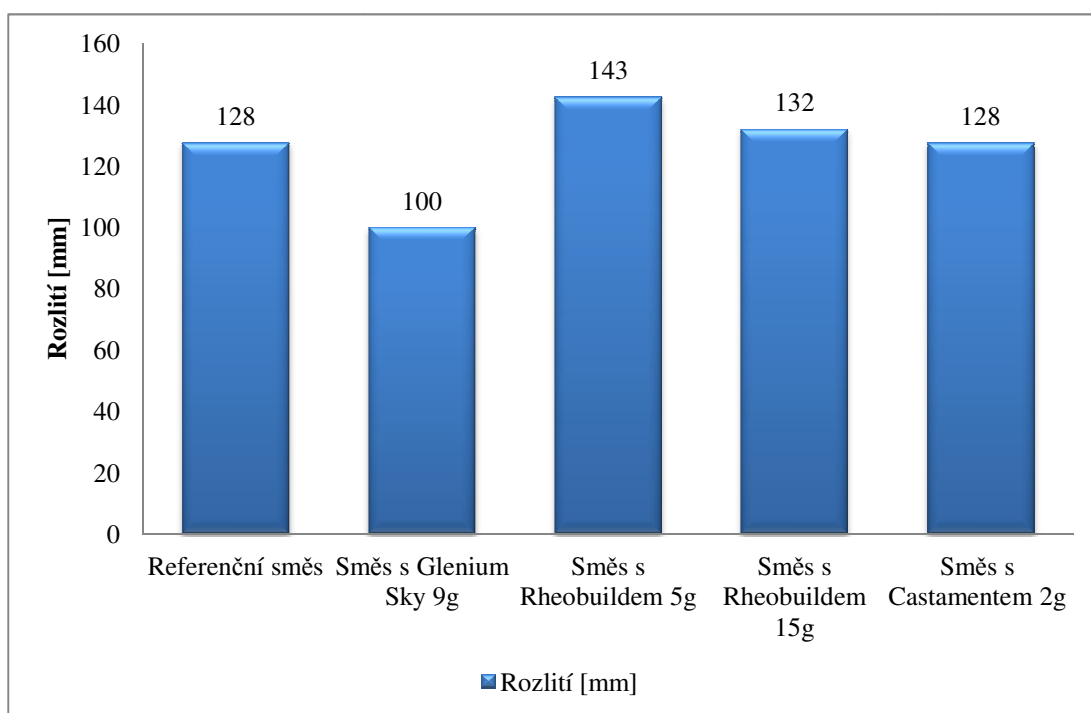
Použitím tohoto plastifikátoru nedošlo ke zvětšení rozlití, referenční hodnota 128 mm byla naměřena i při použití tohoto superplastifikátoru. V rámci experimentu ověřím vliv plastifikátoru na pevnosti v tahu a v tlaku a v případě, že plastifikátor při tomto dávkování výrazněji pevnosti neovlivní, nebudu jej v experimentu dále používat.

8.1.5. Vyhodnocení

Při použití superplastifikátorů se u zkoušky rozlití projevil každý testovaný druh jiným způsobem. Výsledné hodnoty jsou uvedeny v grafu (Obr. 17).

Pro další výzkum budu používat superplastifikátor Rheobuild v množství 5g a 15g a superplastifikátor Castament v množství 2g.

Na recepturách s uvedenými plastifikátory ověřím pevnosti v tahu a v tlaku a na základě výsledků si vyberu jeden druh superplastifikátoru, s nímž budu pracovat v dalších fázích mé práce.



Obr. 17: Grafické znázornění výsledků zkoušky rozlití směsí se superplastifikátory

8.2. Pevnost

Dalším krokem bylo zjišťování pevnosti směsí se superplastifikátory. To z důvodu zda-li superplastifikátory mají na směs příznivý vliv i co se týče pevnosti. Výsledné pevnosti porovnáme s referenční směsí.

8.2.1. 5g RHEOBUILD® 1026

- Receptura:

450 g VGS
120 ml aktivátoru
85 g vody
5 g Rheobuild
1350 g normový písek

- Výsledky:

Výsledné hodnoty směsi po 7 a 28 dnech vidíme v tabulce (Tab. 6). Průběhy zkoušek pevnosti v tahu za ohybu a pevnosti v tlaku jsou zachyceny na Obr. 18 - 19.

Tab. 6: Výsledné charakteristiky směsi obsahující 5g RHEOBUILDU® 1026

Základní směs + Rheobuild 5g									
7 denní pevnost									
Název vzorku	Rozměry			Tah (ohyb)		Tlak		Váha [kg]	Objemová hmotnost [kg/m ³]
	Výška [mm]	Šířka [mm]	Délka [mm]	Síla [kN]	Pevnost [MPa]	Síla [kN]	Pevnost [MPa]		
R5G 7	40,00	40,17	160,00	2,93	6,9	110,88	69,3	0,607	2360
28 denní pevnost									
Název vzorku	Rozměry			Tah (ohyb)		Tlak		Váha [kg]	Objemová hmotnost [kg/m ³]
	Výška [mm]	Šířka [mm]	Délka [mm]	Síla [kN]	Pevnost [MPa]	Síla [kN]	Pevnost [MPa]		
R5G 28	40,00	39,83	160,00	3,17	7,4	142,60	89,7	0,596	2340



Obr. 18: Směs s obsahem 5g RHEOBUILDU® 1026 po zkoušce pevnosti v tahu za ohybu



Obr. 19: Směs s obsahem 5g RHEOBUILDU® 1026 po zkoušce pevnosti v tlaku

8.2.2. 15g RHEOBUILD® 1026

- Receptura:

450 g VGS
120 ml aktivátoru
75 g vody
15 g Rheobuild
1350 g normový písek

- Výsledky:

Výsledné hodnoty směsi s po 7 a 28 dnech vidíme v Tab. 7. Průběhy zkoušek pevnosti v tahu za ohybu a pevnosti v tlaku jsou zachyceny na obrázcích Obr. 20 - 21.

Tab. 7: Výsledné charakteristiky směsi obsahující 15g RHEOBUILDU® 1026

Základní směs + Rheobuild 15g									
7 denní pevnost									
Název vzorku	Rozměry			Tah (ohyb)		Tlak		Váha [kg]	Objemová hmotnost [kg/m ³]
	Výška [mm]	Šířka [mm]	Délka [mm]	Síla [kN]	Pevnost [MPa]	Síla [kN]	Pevnost [MPa]		
R15G 7	40,00	39,50	160,00	2,70	6,4	90,35	57,2	0,589	2330
28 denní pevnost									
Název vzorku	Rozměry			Tah (ohyb)		Tlak		Váha [kg]	Objemová hmotnost [kg/m ³]
	Výška [mm]	Šířka [mm]	Délka [mm]	Síla [kN]	Pevnost [MPa]	Síla [kN]	Pevnost [MPa]		
R15G28	40,00	39,63	160,00	3,63	8,6	142,33	89,6	0,596	2350



Obr. 20: Směs s obsahem 15g RHEOBUILDU[®] 1026 po zkoušce pevnosti v tahu za ohybu



Obr. 21: Směs s obsahem 15g RHEOBUILDU[®] 1026 po zkoušce pevnosti v tlaku

8.2.3. 2g Castament® FS 65

- Receptura:

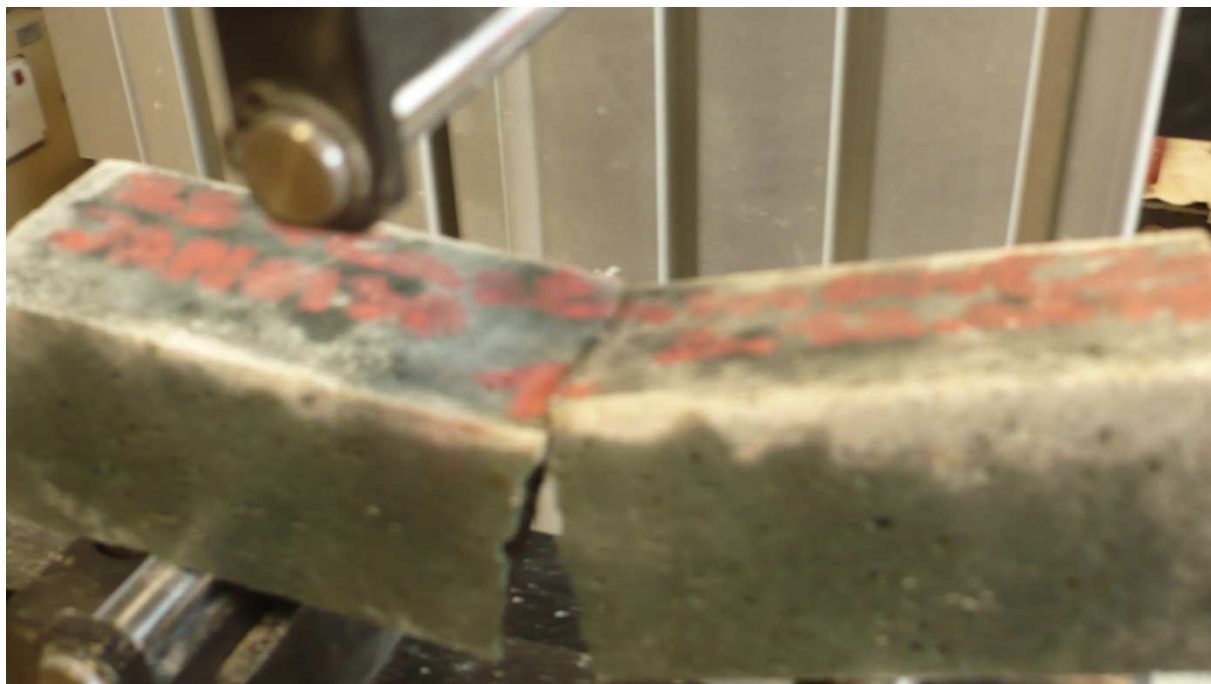
450 g VGS
120 ml aktivátoru
90 g vody
2 g Castament
1350 g normový písek

- Výsledky:

Výsledné hodnoty směsi s Castamentem po 7 a 28 dnech vidíme v Tab. 8. Průběhy zkoušek pevnosti v tahu za ohybu a pevnosti v tlaku jsou zachyceny na Obr. 22 - 23.

Tab. 8: Výsledné charakteristiky směsi obsahující 2g Castament® FS65

Základní směs + Castament 2g									
7 denní pevnost									
Název vzorku	Rozměry			Tah (ohyb)		Tlak		Váha [kg]	Objemová hmotnost [kg/m ³]
	Výška [mm]	Šířka [mm]	Délka [mm]	Síla [kN]	Pevnost [MPa]	Síla [kN]	Pevnost [MPa]		
C2G 7	40,00	39,83	160,00	2,73	6,5	93,40	59,1	0,585	2300
28 denní pevnost									
Název vzorku	Rozměry			Tah (ohyb)		Tlak		Váha [kg]	Objemová hmotnost [kg/m ³]
	Výška [mm]	Šířka [mm]	Délka [mm]	Síla [kN]	Pevnost [MPa]	Síla [kN]	Pevnost [MPa]		
C2G 28	40,00	40,36	160,00	3,40	7,9	127,45	80,0	0,593	2300



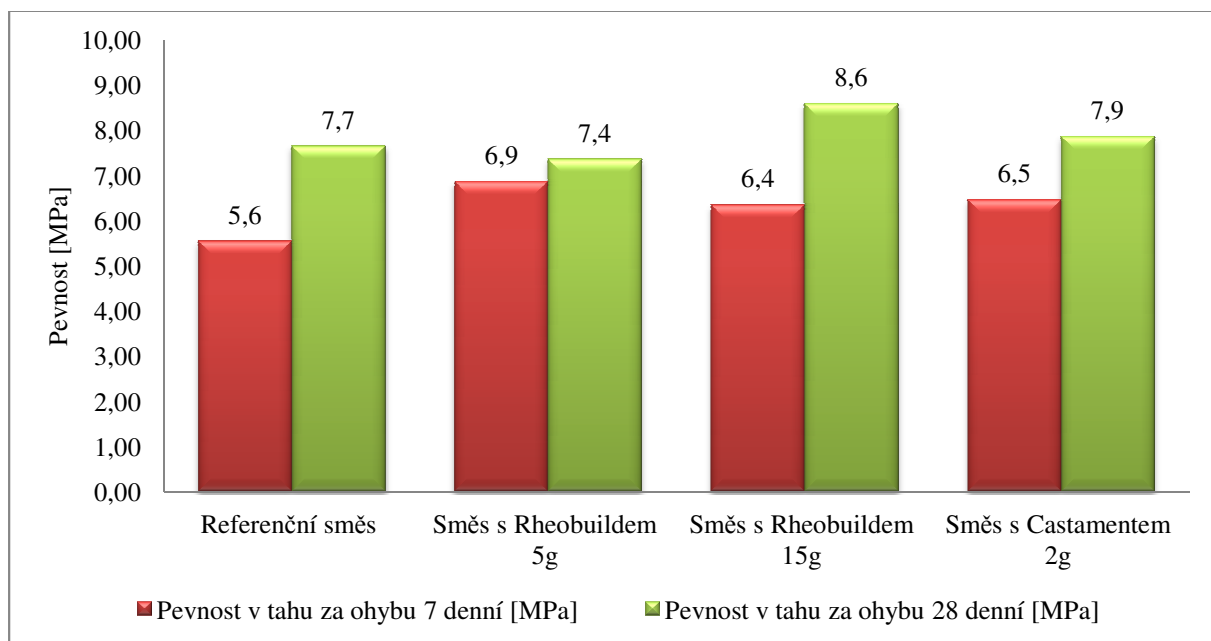
Obr. 22: Směs s obsahem 2g Castaentu[®] FS 65 po zkoušce pevnosti v tahu za ohybu



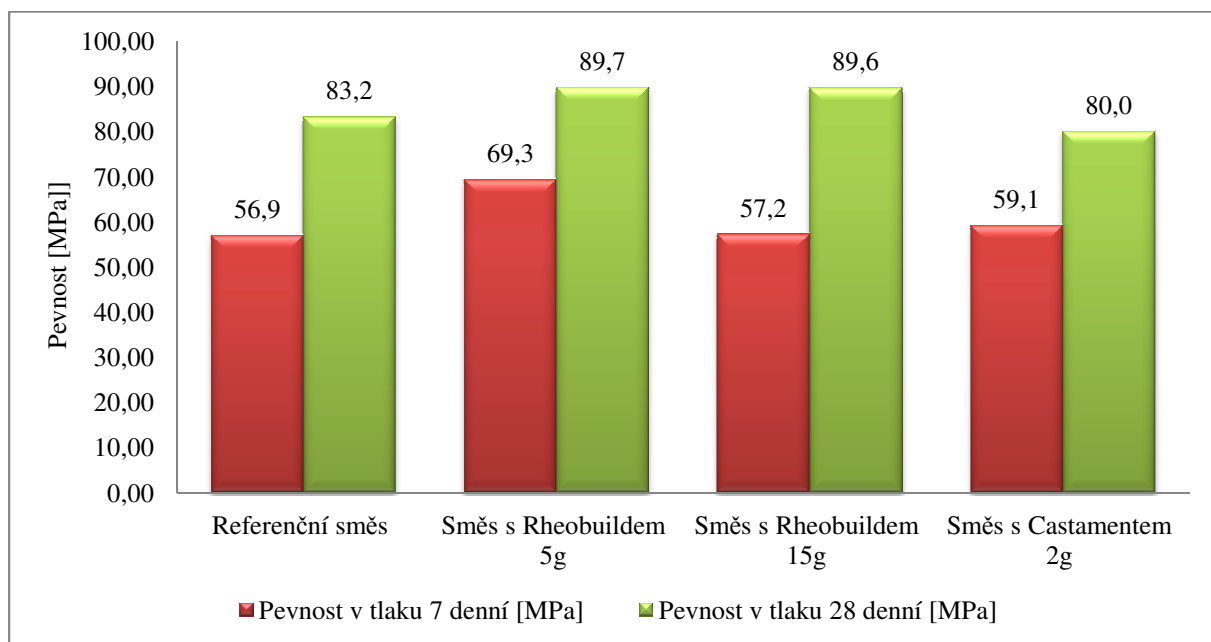
Obr. 23: Směs s obsahem 2g Castamentu[®] FS 65 po zkoušce pevnosti v tlaku

8.2.4. Vyhodnocení

Stejně jako u stanovení konzistence tak i u pevnosti po 7 a 28 dnech dosahoval nejlepších hodnot superplastifikátor Rheobuild v množství 5g. Všechny dosažené hodnoty jsou patrné z grafů (Obr. 24 - 25). Pro směs, která by měla na konci výzkumu dosahovat nejvyšších pevností, bude použit superplastifikátor Rheobuild v množství 5g díky naměřeným hodnotám.



Obr. 24: Grafické znázornění pevnosti v tahu za ohybu směsí se superplastifikátory



Obr. 25: Grafické znázornění pevnosti v tlaku směsí se superplastifikátory

9. Vliv jemnozrnných příměsí

Jako další krok jsem zvolil hledání vhodných jemnozrnných příměsí k dosažení nejvyšších pevností. Pro experiment byly vybrány metakaoliny N-Meta a I-Meta a také mikrosilika. Dávkovány budou v 10 hmotnostních procentech pojiva (VGS). Vlastnosti připravených směsí budu porovnávat s referenční směsí.

9.1. I-Meta

- Receptura:

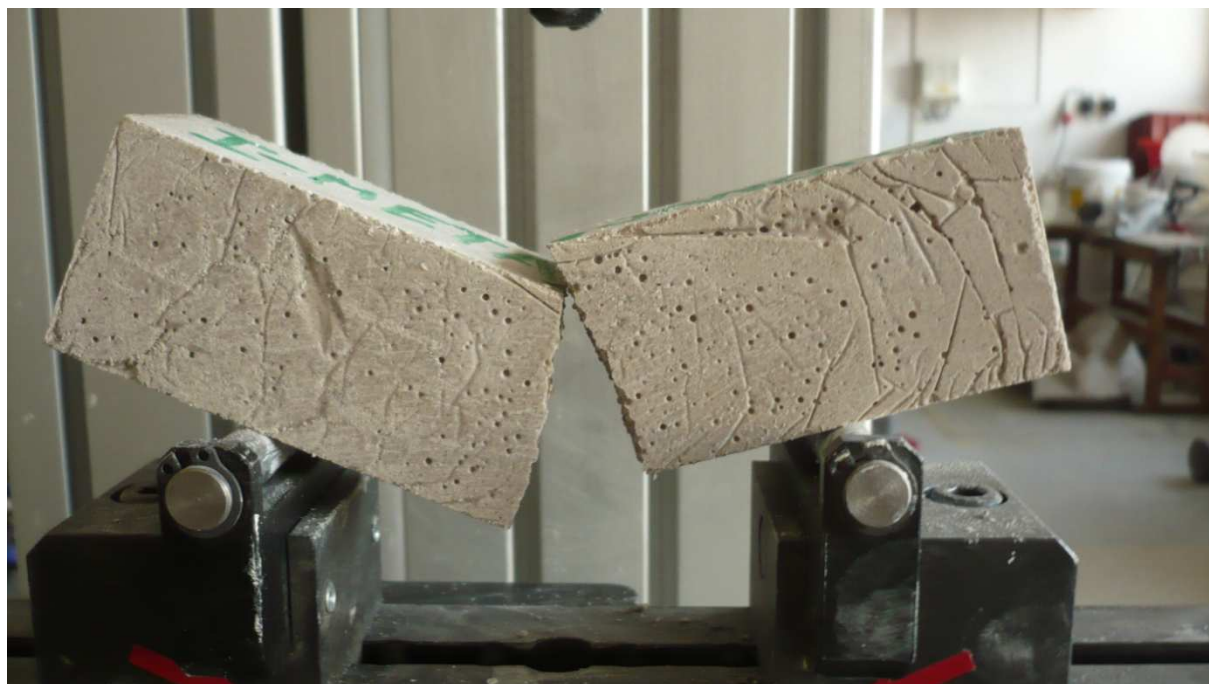
405 g VGS
45 g I-Mety
120 ml aktivátoru
90 g vody
1350 g normový písek

- Výsledky:

Výsledné vlastnosti směsi s I-Metou po 1, 7 a 28 dnech vidíme v tabulce (Tab. 9). Průběhy zkoušek pevnosti v tahu za ohybu a pevnosti v tlaku jsou zachyceny na Obr. 26 - 27.

Tab. 9: Výsledné charakteristiky po přidání jemného podílu I-Meta

Směs s I-META									
1 denní pevnost									
Název vzorku	Rozměry			Tah (ohyb)		Tlak		Váha [kg]	Objemová hmotnost [kg/m ³]
	Výška [mm]	Šířka [mm]	Délka [mm]	Síla [kN]	Pevnost [MPa]	Síla [kN]	Pevnost [MPa]		
IM 1	40,00	40,06	160,00	0,58	1,4	7,98	5,0	0,605	2360
7 denní pevnost									
Název vzorku	Rozměry			Tah (ohyb)		Tlak		Váha [kg]	Objemová hmotnost [kg/m ³]
	Výška [mm]	Šířka [mm]	Délka [mm]	Síla [kN]	Pevnost [MPa]	Síla [kN]	Pevnost [MPa]		
IM 7	40,00	39,33	160,00	0,70	1,7	11,72	7,3	0,570	2270
28 denní pevnost									
Název vzorku	Rozměry			Tah (ohyb)		Tlak		Váha [kg]	Objemová hmotnost [kg/m ³]
	Výška [mm]	Šířka [mm]	Délka [mm]	Síla [kN]	Pevnost [MPa]	Síla [kN]	Pevnost [MPa]		
IM 28	40,00	40,84	160,00	2,26	5,2	144,65	90,4	0,592	2260



Obr. 26: Směs s I-Metou po zkoušce pevnosti v tahu za ohybu



Obr. 27: Směs s I-Metou po zkoušce pevnosti v tlaku

9.2. N-Meta

- Receptura:

405 g VGS

45 g N-Mety

120 ml aktivátoru

90 g vody

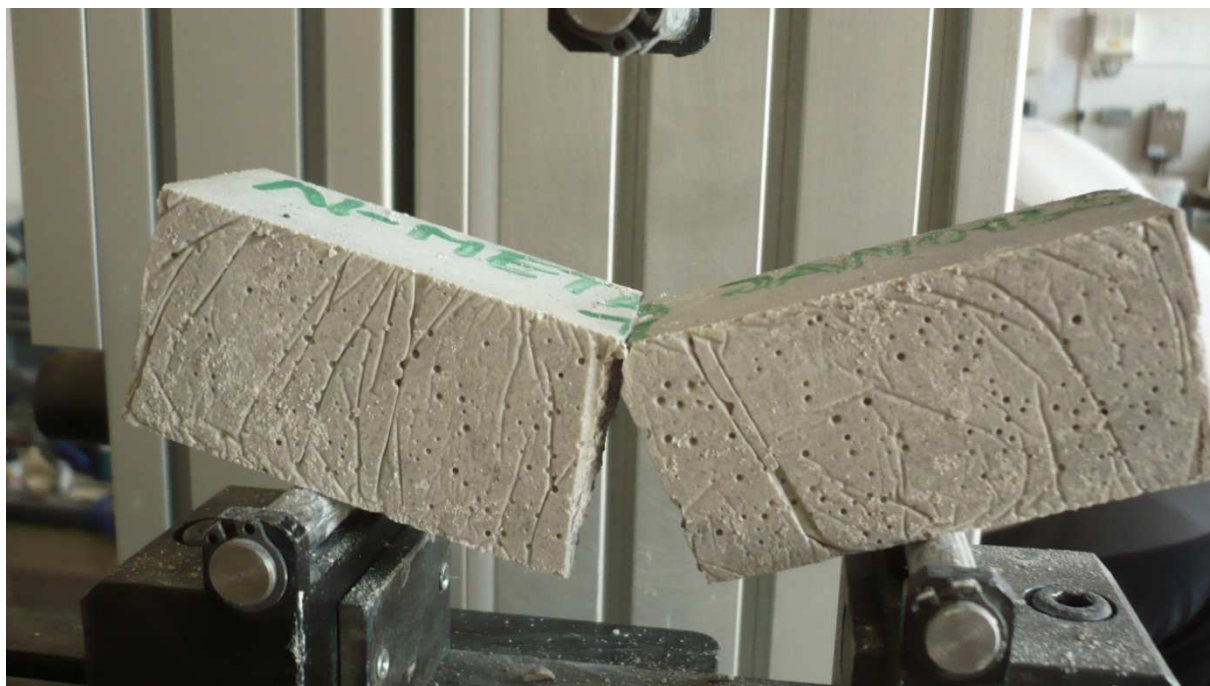
1350 g normový písek

- Výsledky:

Výsledné hodnoty směsi s N-Metou po 1, 7 a 28 dnech vidíme v tabulce (Tab. 10). Průběhy zkoušek pevnosti v tahu za ohybu a pevnosti v tlaku jsou zachyceny na Obr. 28 - 29.

Tab. 10: Výsledné charakteristiky po přidání jemného podílu N-Meta

Směs s N-META									
1 denní pevnost									
Název vzorku	Rozměry			Tah (ohyb)		Tlak		Váha [kg]	Objemová hmotnost [kg/m ³]
	Výška [mm]	Šířka [mm]	Délka [mm]	Síla [kN]	Pevnost [MPa]	Síla [kN]	Pevnost [MPa]		
NM 1	40,00	40,23	160,00	0,52	1,2	8,90	5,6	0,590	2290
7 denní pevnost									
Název vzorku	Rozměry			Tah (ohyb)		Tlak		Váha [kg]	Objemová hmotnost [kg/m ³]
	Výška [mm]	Šířka [mm]	Délka [mm]	Síla [kN]	Pevnost [MPa]	Síla [kN]	Pevnost [MPa]		
NM 7	40,00	39,56	160,00	2,36	5,6	67,62	42,2	0,588	2320
28 denní pevnost									
Název vzorku	Rozměry			Tah (ohyb)		Tlak		Váha [kg]	Objemová hmotnost [kg/m ³]
	Výška [mm]	Šířka [mm]	Délka [mm]	Síla [kN]	Pevnost [MPa]	Síla [kN]	Pevnost [MPa]		
NM 28	40,00	39,31	160,00	2,68	6,4	147,21	91,8	0,591	2350



Obr. 28: Směs s N-Metou po zkoušce pevnosti v tahu za ohybu



Obr. 29: Směs s N-Metou po zkoušce pevnosti v tlaku

9.3. Mikrosilika

- Receptura:

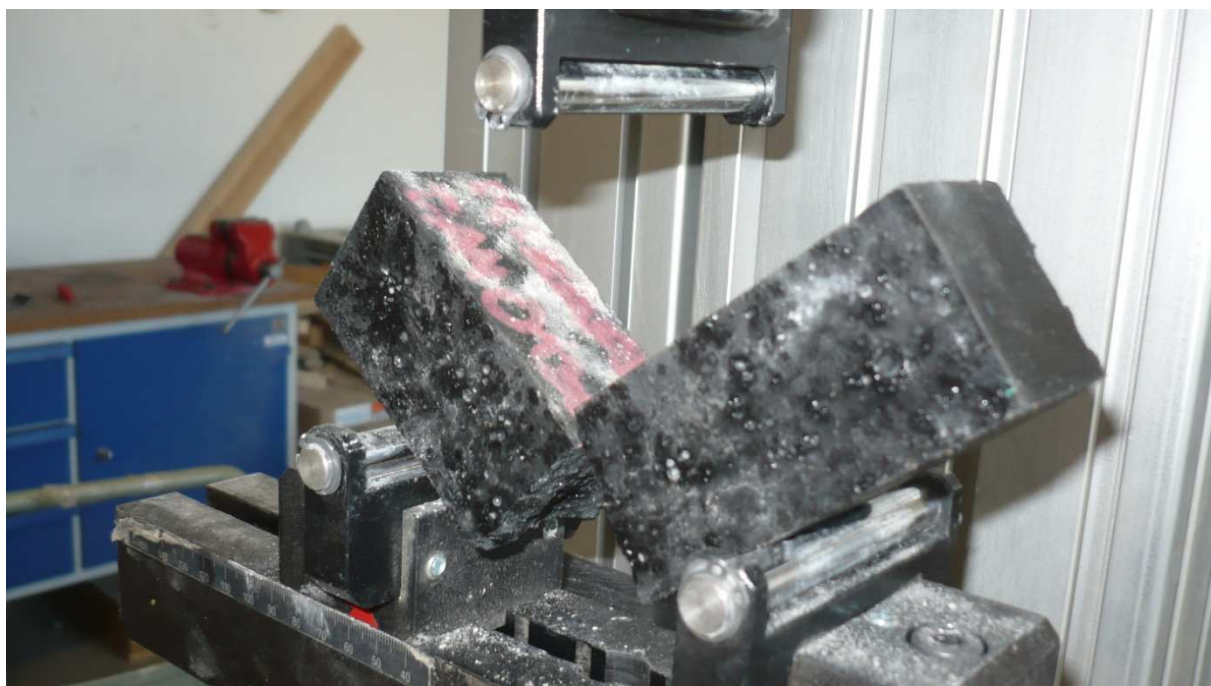
405 g VGS
 45 g Mikrosiliky
 120 ml aktivátoru
 90 g vody
 1350 g normový písek

- Výsledky:

Výsledné hodnoty směsi s mikrosilikou po 1, 7 a 28 dnech vidíme v Tab. 11. Průběhy zkoušek pevnosti v tahu za ohybu a pevnosti v tlaku jsou zachyceny na Obr. 30 - 31.

Tab. 11: Výsledné charakteristiky po přidání jemného podílu mikrosilika

Směs s mikrosilikou									
1 denní pevnost									
Název vzorku	Rozměry			Tah (ohyb)		Tlak		Váha [kg]	Objemová hmotnost [kg/m ³]
	Výška [mm]	Šířka [mm]	Délka [mm]	Síla [kN]	Pevnost [MPa]	Síla [kN]	Pevnost [MPa]		
MS 1	40,00	40,32	160,00	0,23	0,5	6,06	3,8	0,578	2240
7 denní pevnost									
Název vzorku	Rozměry			Tah (ohyb)		Tlak		Váha [kg]	Objemová hmotnost [kg/m ³]
	Výška [mm]	Šířka [mm]	Délka [mm]	Síla [kN]	Pevnost [MPa]	Síla [kN]	Pevnost [MPa]		
MS 7	40,00	37,90	160,00	2,10	5,5	88,70	55,4	0,540	2230
28 denní pevnost									
Název vzorku	Rozměry			Tah (ohyb)		Tlak		Váha [kg]	Objemová hmotnost [kg/m ³]
	Výška [mm]	Šířka [mm]	Délka [mm]	Síla [kN]	Pevnost [MPa]	Síla [kN]	Pevnost [MPa]		
MS 28	40,00	37,91	160,00	2,60	6,4	151,94	98,5	0,556	2300



Obr. 30: Směs s mikrosilikou po zkoušce pevnosti v tahu za ohybu



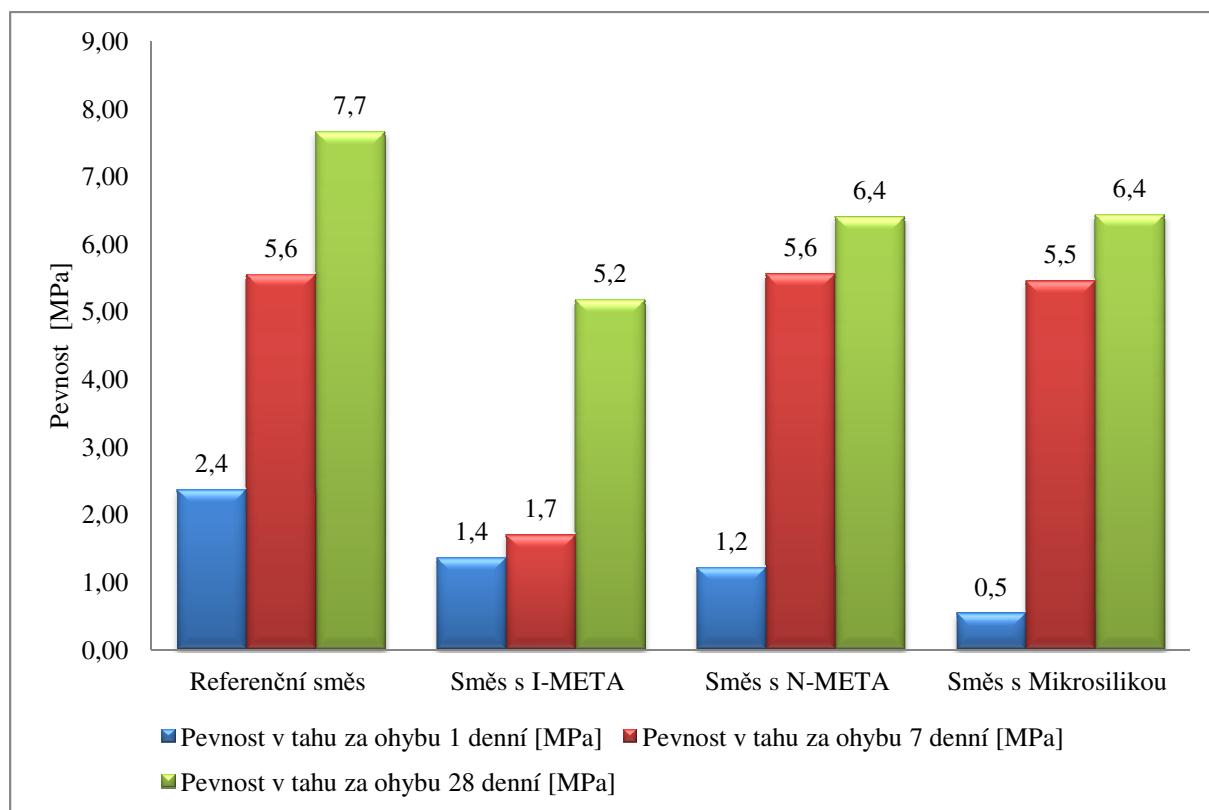
Obr. 31: Směs s mikrosilikou po zkoušce pevnosti v tlaku

9.4. Vyhodnocení

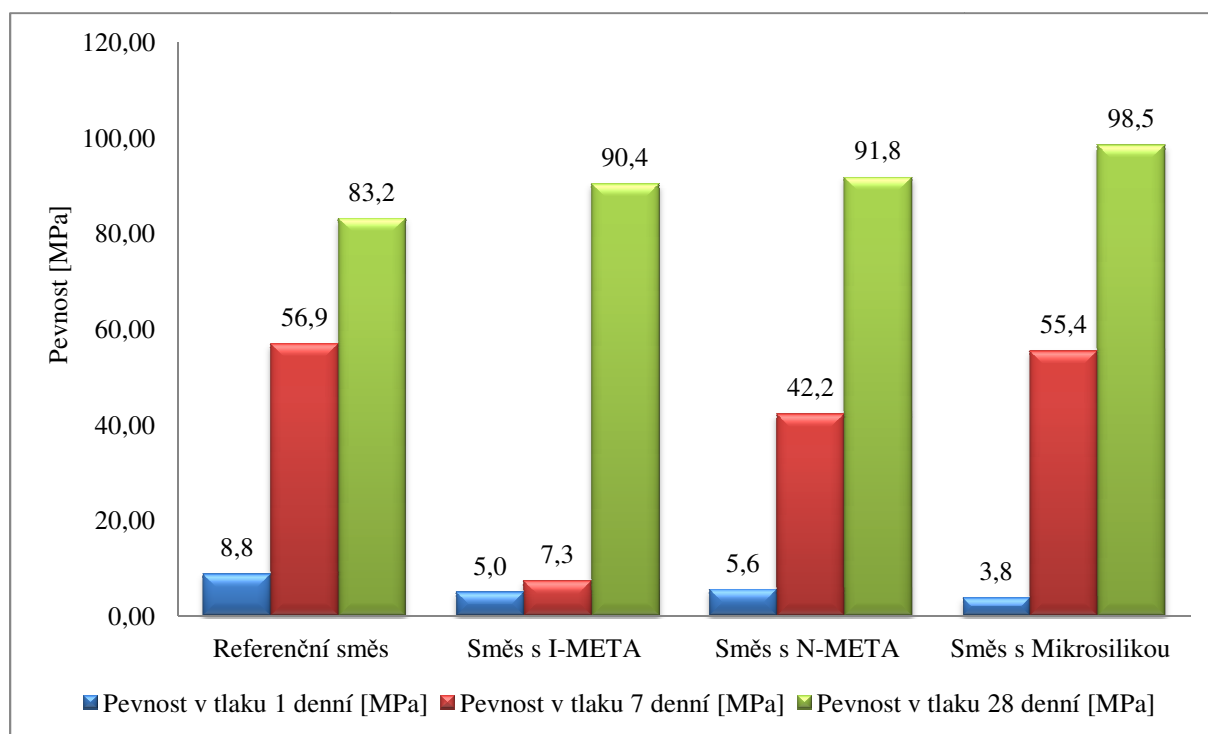
Na základě porovnání pevností po 1, 7 a 28 dnech, směsí s jemnozrnnými přísadami, můžeme konstatovat, že tyto přísady ve všech případech zlepšily pevnost v tlaku po 28 dnech, i když počáteční pevnosti po jednom a sedmi dnech dosahují horších hodnot než referenční receptura, jak je vidět na grafu (Obr. 33).

Ovšem došlo k malému poklesu pevností v tahu za ohybu, což můžeme také vyčíst z grafu (Obr. 32). Na základě zjištěných vlastností jsem se rozhodl používat v dalších etapách experimentu z těchto přísad jen mikrosiliku.

Jedná se o nejdražší materiál z testovaných přísad, v případě praktické aplikace by byl pravděpodobně spíše vybrán metakaolin N-meta, jelikož je cenově nejvýhodnější a rozdíl konečných pevností není tak markantní.



Obr. 32: Grafické znázornění pevností v tahu za ohybu směsí s jemnými podíly



Obr. 33: Grafické znázornění pevností v tlaku směsí s jemnými podíly

10. Vliv kameniva

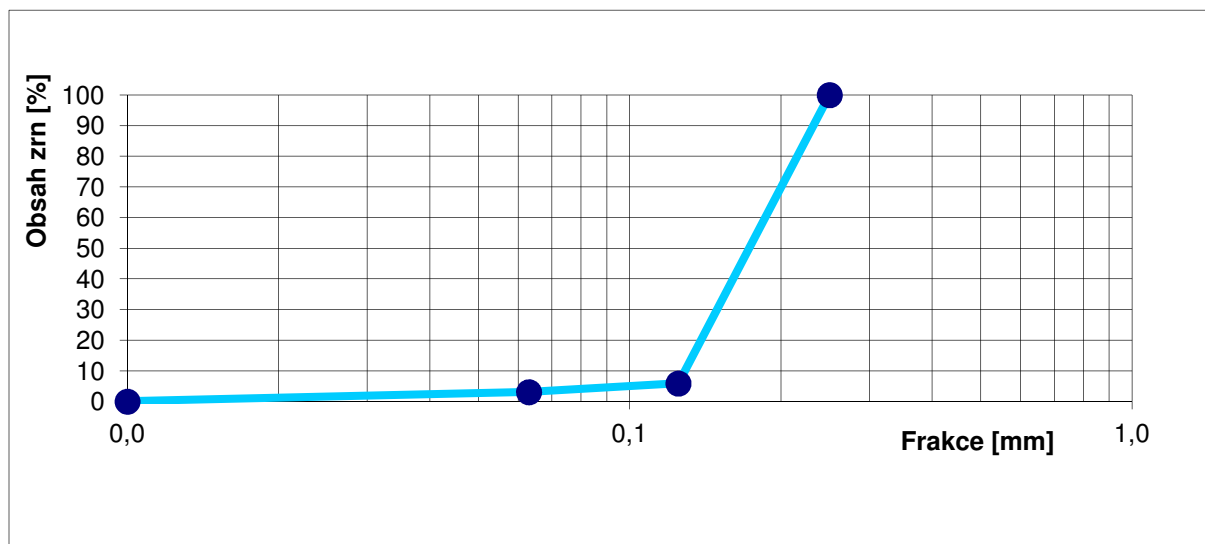
Další etapa práce je zaměřena na ověření vlivu kameniva na konečné vlastnosti alkalicky aktivovaných materiálů. V rámci experimentu byly použity tři druhy kameniva, a to korund, čedič a žula. Tato kameniva jsem i přes finanční náročnost (především u korundu) zvolil hlavně pro jejich pevnosti jako materiálu obecně.

U jednotlivých druhů kameniva jsem pracoval s materiálem dostupným v laboratoři stavebních hmot FAST, VŠB - TUO, proto jsem jednotlivé druhy musel upravovat podrcením (čedič, žula), v případě korundu jsem jako plnivo použil kamenivo používané pro zkoušky obrusnosti. Před použitím kameniva jsem vždy síťovým rozbořem stanovil jeho zrnitost. Výsledky byly porovnány s referenční směsí.

10.1. Korund

- Receptura:

- 450 g VGS
- 120 ml aktivátoru
- 115 g vody
- 1350 g korundu



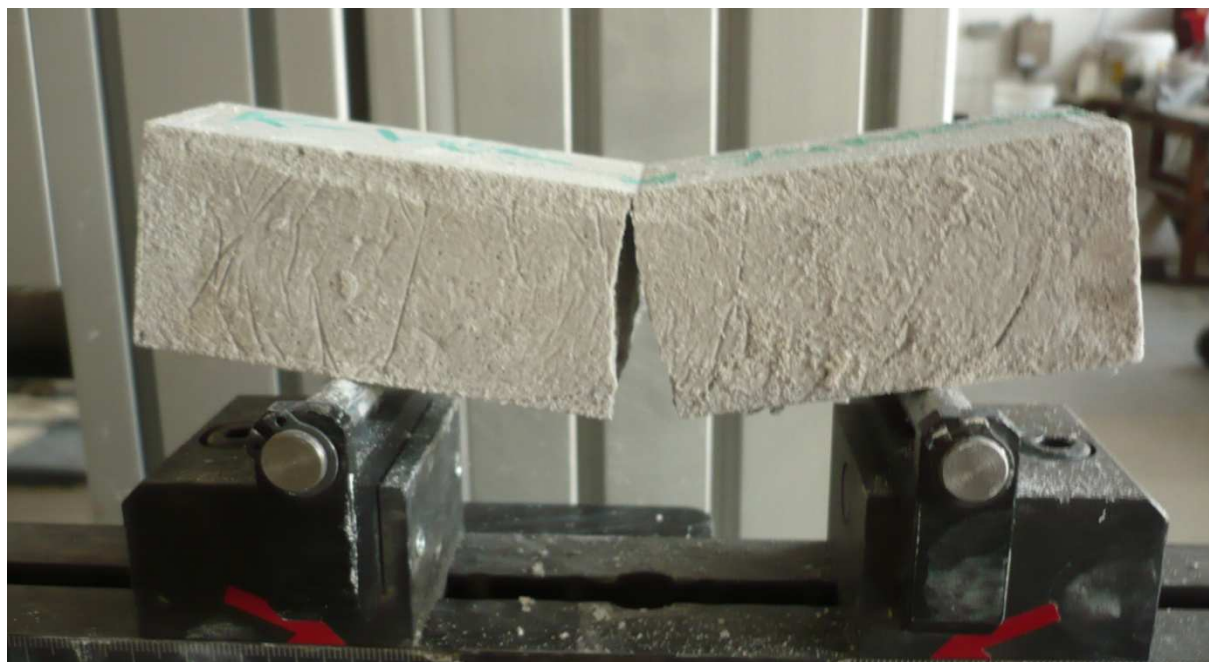
Obr. 34: Křivka zrnitosti korundu

- Výsledky:

Výsledné hodnoty směsi s korundem po 1, 7 a 28 dnech vidíme v tabulce (Tab. 12). Průběhy zkoušek pevnosti v tahu za ohybu a pevnosti v tlaku jsou zachyceny na Obr.35 - 36.

Tab. 12: Výsledné charakteristiky směsi s korundem

Směs s korundem									
1 denní pevnost									
Název vzorku	Rozměry			Tah (ohyb)		Tlak		Váha [kg]	Objemová hmotnost [kg/m ³]
	Výška [mm]	Šířka [mm]	Délka [mm]	Síla [kN]	Pevnost [MPa]	Síla [kN]	Pevnost [MPa]		
K 1	40,00	37,26	160,00	0,31	0,8	4,72	3,0	0,670	2810
7 denní pevnost									
Název vzorku	Rozměry			Tah (ohyb)		Tlak		Váha [kg]	Objemová hmotnost [kg/m ³]
	Výška [mm]	Šířka [mm]	Délka [mm]	Síla [kN]	Pevnost [MPa]	Síla [kN]	Pevnost [MPa]		
K 7	40,00	36,37	160,00	2,12	5,5	69,15	47,5	0,648	2790
28 denní pevnost									
Název vzorku	Rozměry			Tah (ohyb)		Tlak		Váha [kg]	Objemová hmotnost [kg/m ³]
	Výška [mm]	Šířka [mm]	Délka [mm]	Síla [kN]	Pevnost [MPa]	Síla [kN]	Pevnost [MPa]		
K 28	40,00	37,21	160,00	2,91	7,9	129,57	81,0	0,671	2820



Obr. 35: Směs s Korundem po zkoušce pevnosti v tahu za ohybu



Obr. 36: Směs s Korundem po zkoušce pevnosti v tlaku

10.2. Čedič

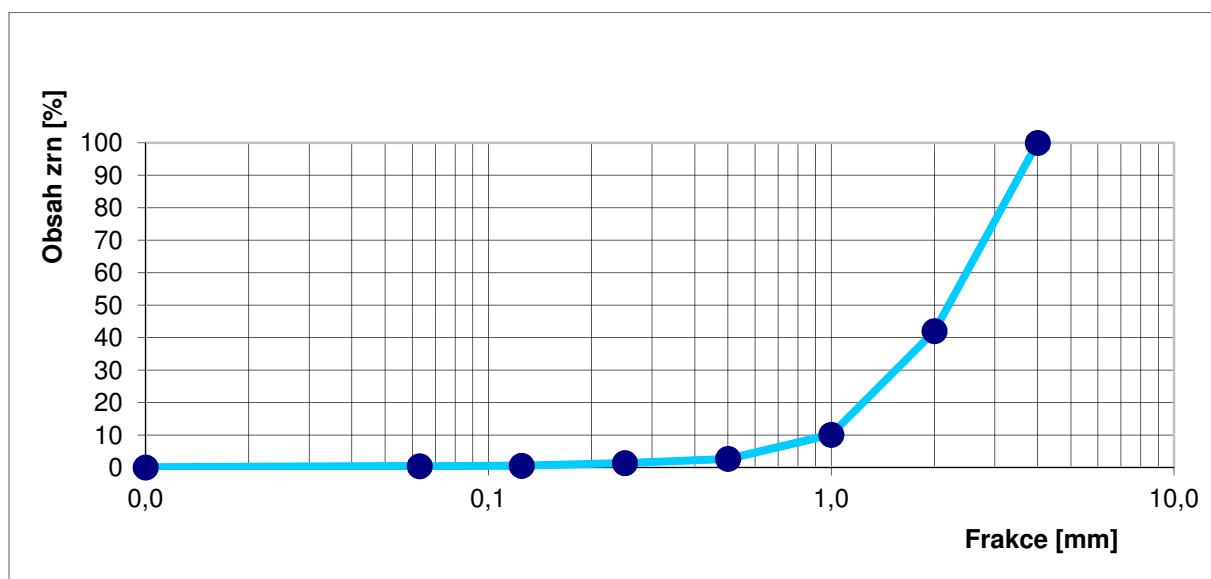
- Receptura:

450 g VGS

120 ml aktivátoru

115 g vody

1350 g čediče frakce 0/4



Obr. 37: Křivka zrnitosti čediče

- Výsledky:

Výsledné hodnoty směsi s čedičem po 1, 7 a 28 dnech vidíme v tabulce (Tab. 13). Průběhy zkoušek pevnosti v tahu za ohybu a pevnosti v tlaku jsou zachyceny na obrázcích (Obr. 38 - 39).

Tab. 13: Výsledné charakteristiky směsi s čedičem

Směs s čedičem									
1 denní pevnost									
Název vzorku	Rozměry			Tah (ohyb)		Tlak		Váha [kg]	Objemová hmotnost [kg/m ³]
	Výška [mm]	Šířka [mm]	Délka [mm]	Síla [kN]	Pevnost [MPa]	Síla [kN]	Pevnost [MPa]		
Č 1	40,00	39,94	160,00	0,24	0,6	5,89	3,7	0,633	2480
7 denní pevnost									
Název vzorku	Rozměry			Tah (ohyb)		Tlak		Váha [kg]	Objemová hmotnost [kg/m ³]
	Výška [mm]	Šířka [mm]	Délka [mm]	Síla [kN]	Pevnost [MPa]	Síla [kN]	Pevnost [MPa]		
Č 7	40,00	39,65	160,00	2,62	6,2	96,49	60,3	0,627	2470
28 denní pevnost									
Název vzorku	Rozměry			Tah (ohyb)		Tlak		Váha [kg]	Objemová hmotnost [kg/m ³]
	Výška [mm]	Šířka [mm]	Délka [mm]	Síla [kN]	Pevnost [MPa]	Síla [kN]	Pevnost [MPa]		
Č 28	40,00	39,35	160,00	3,08	7,5	95,71	62,3	0,625	2480



Obr. 38: Směs s Čedičem po zkoušce pevnosti v tahu za ohybu



Obr. 39: Směs s Čedičem po zkoušce pevnosti v tlaku

10.3. Žula

- Receptura:

450 g VGS

120 ml aktivátoru

115 g vody

1350 g žuly frakce 4/8

- Výsledky:

Výsledné hodnoty pevnosti směsi s žulou po 1, 7 a 28 dnech vidíme v tabulce (Tab. 14). Průběhy zkoušek pevnosti v tahu za ohybu a pevnosti v tlaku jsou zachyceny na Obr. 40 - 41.

Tab. 14: Výsledné charakteristiky směsi s žulou

Směs s žulou									
1 denní pevnost									
Název vzorku	Rozměry			Tah (ohyb)		Tlak		Váha [kg]	Objemová hmotnost [kg/m ³]
	Výška [mm]	Šířka [mm]	Délka [mm]	Síla [kN]	Pevnost [MPa]	Síla [kN]	Pevnost [MPa]		
Ž 1	40,00	39,75	160,00	0,30	0,70	9,29	5,8	0,589	2320
7 denní pevnost									
Název vzorku	Rozměry			Tah (ohyb)		Tlak		Váha [kg]	Objemová hmotnost [kg/m ³]
	Výška [mm]	Šířka [mm]	Délka [mm]	Síla [kN]	Pevnost [MPa]	Síla [kN]	Pevnost [MPa]		
Ž 7	40,00	40,42	160,00	2,24	5,2	72,97	45,6	0,607	2350
28 denní pevnost									
Název vzorku	Rozměry			Tah (ohyb)		Tlak		Váha [kg]	Objemová hmotnost [kg/m ³]
	Výška [mm]	Šířka [mm]	Délka [mm]	Síla [kN]	Pevnost [MPa]	Síla [kN]	Pevnost [MPa]		
Ž 28	40,00	39,84	160,00	3,30	7,8	111,87	69,9	0,596	2340



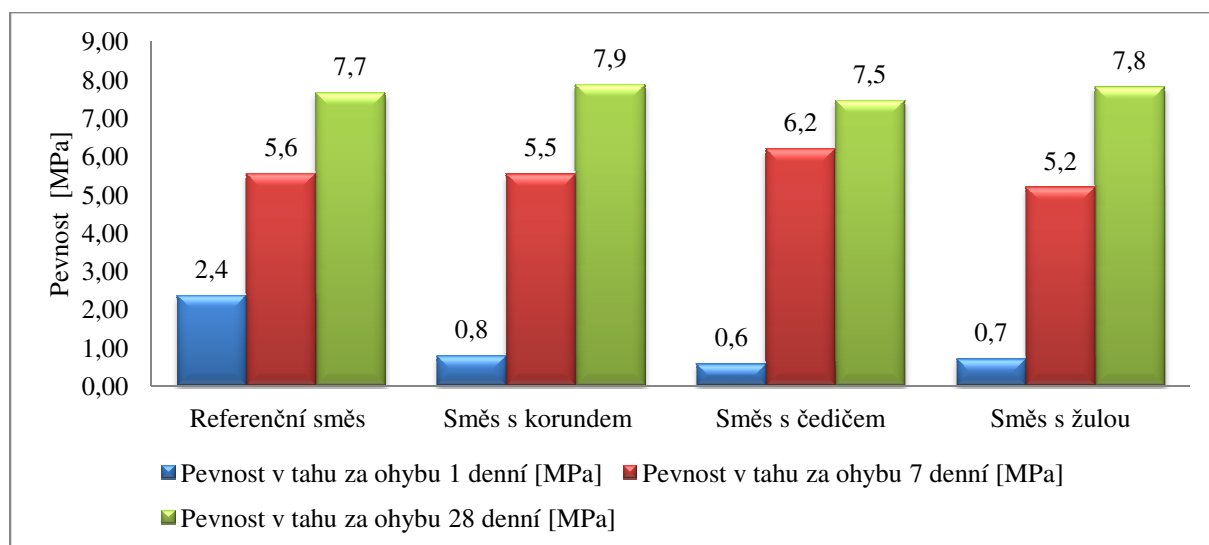
Obr. 40: Směs s žulou po zkoušce pevnosti v tahu za ohybu



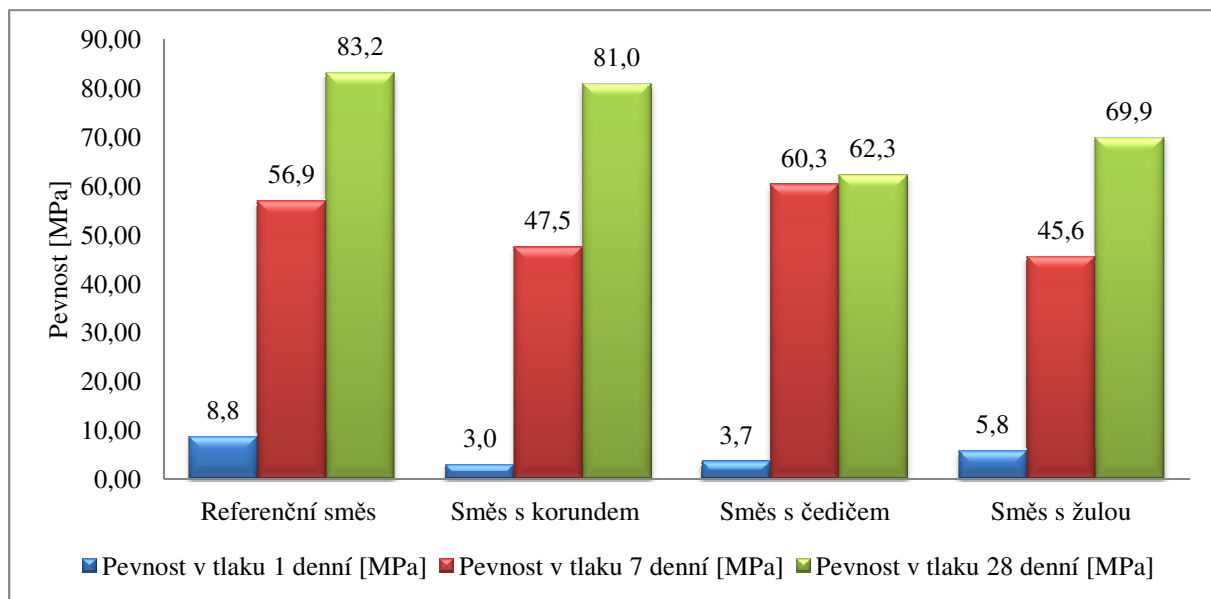
Obr. 41: Směs s Žulou po zkoušce pevnosti v tlaku

10.4. Vyhodnocení

Tyto směsi se projevily příznivě u pevnosti v tahu za ohybu, kdy bylo dosaženo vyšších hodnot, jak je patrné z grafu (Obr. 42). U pevností v tlaku nebylo dosaženo hodnot referenční směsi, což můžeme pozorovat na Obr. 43. K dalším experimentům byl vybrán čedič, i když nedosáhl nejvyšších pevností. Byl vybrán pro své vysoké počáteční pevnosti v tlaku po 7 dnech zrání a mimo jiné také vzhledem k dostupnosti a ceně tohoto materiálu.



Obr. 42: Grafické znázornění pevností v tahu za ohybu směsí s různými druhy kameniva



Obr. 43: Grafické znázornění pevností v tlaku směsí s různými druhy kameniva

11. Vliv skleněných vláken

Pomocí rozptýlené výztuže dokážeme docílit toho, aby směs nebyla natolik křehká a nedocházelo k velkému smršťování. Především proto byla přidána do mnou zkoumaných směsí vlákna dvou velikostí ANTI-CRACK HP-6MM a ANTI-CRACK HP-12MM. V rámci této experimentální části jsem již u směsí používal i zvolený superplastifikátor.

11.1. ANTI-CRACK HP-6MM

- Receptura:

450 g VGS
 120 ml aktivátoru
 90 g vody
 5 g Rheobuild
 5 g ANTI-CRACK HP-6MM
 1350 g normový písek

- Výsledky:

Výsledné hodnoty směsi s ANTI-CRACK HP-6MM po 7 dnech vidíme v Tab. 15. Průběhy zkoušek pevnosti v tahu za ohybu a pevnosti v tlaku jsou zachyceny na Obr. 44 - 45.

Tab. 15: Výsledné charakteristiky směsi s ANTI-CRACK HP-6MM

7 denní pevnost									
Název vzorku	Rozměry			Tah (ohyb)		Tlak		Váha [kg]	Objemová hmotnost [kg/m ³]
	Výška [mm]	Šířka [mm]	Délka [mm]	Síla [kN]	Pevnost [MPa]	Síla [kN]	Pevnost [MPa]		
AC67	40,00	40,25	160,00	1,90	4,4	47,87	29,7	0,577	2240



Obr. 44: Směs s ANTI-CRACK HP-6MM po zkoušce pevnosti v tahu za ohybu



Obr. 45: Směs s ANTI-CRACK HP-6MM po zkoušce pevnosti v tlaku

11.2. ANTI-CRACK HP-12MM

- Receptura:

450 g VGS
120 ml aktivátoru
90 g vody
5 g Rheobuild
5 g ANTI-CRACK HP-12MM
1350 g normový písek

- Výsledky:

Výsledné hodnoty směsi s ANTI-CRACK HP-12MM po 7 dnech vidíme v Tab. 16. Průběhy zkoušek pevnosti v tahu za ohybu a pevnosti v tlaku jsou zachyceny na Obr. 46 - 47.

Tab. 16: Výsledné charakteristiky směsi s ANTI-CRACK HP-12MM

7 denní pevnost									
Název vzorku	Rozměry			Tah (ohyb)		Tlak		Váha [kg]	Objemová hmotnost [kg/m ³]
	Výška [mm]	Šířka [mm]	Délka [mm]	Síla [kN]	Pevnost [MPa]	Síla [kN]	Pevnost [MPa]		
AC12 7	40,00	39,70	160,00	2,23	5,3	64,03	40,4	0,579	2280



Obr. 46: Směs s ANTI-CRACK HP-12MM po zkoušce pevnosti v tahu za ohybu



Obr. 47: Směs s ANTI-CRACK HP-12MM po zkoušce pevnosti v tlaku

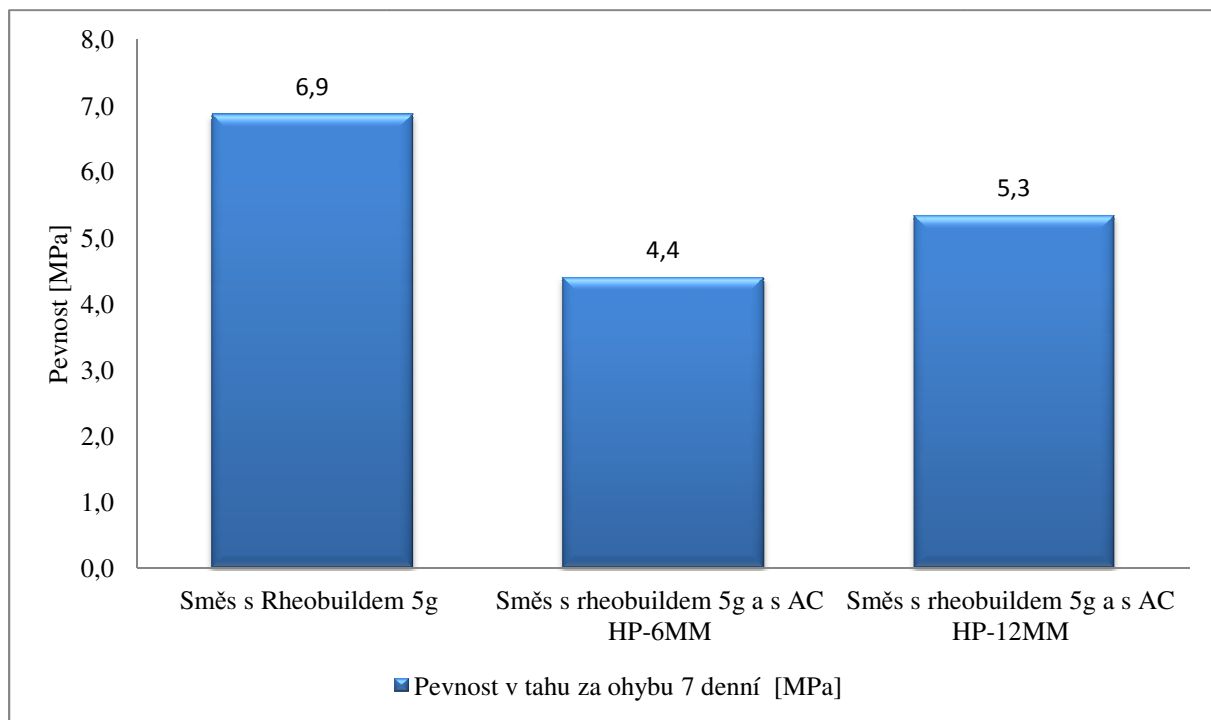
11.3. Vyhodnocení

Použití skleněných vláken neovlivnilo nárůst pevností pozitivním způsobem, naopak, při jejich použití došlo ke snížení pevností v tahu ohybem i v tlaku. U směsí s vlákny ANTI-CRACK HP-12MM nebyl tento pokles tak výrazný jako u vláken ANTI-CRACK HP-6MM (Obr. 49 - 50).

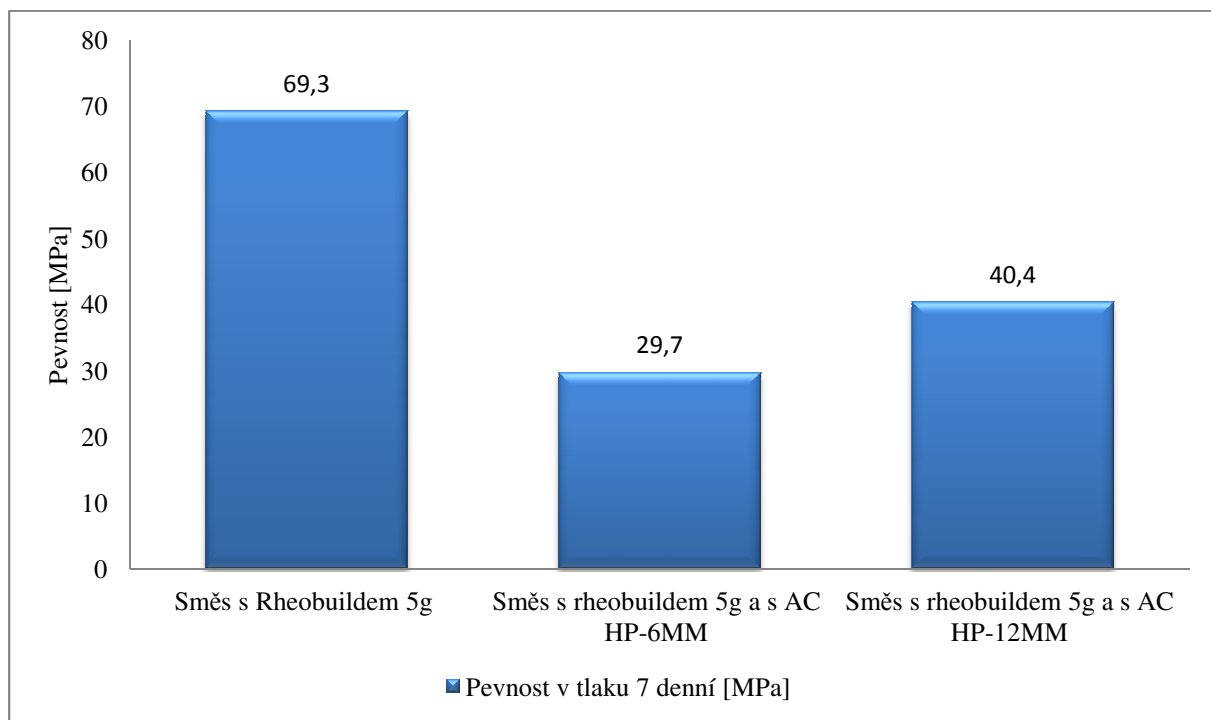
U směsí připravených s těmito vlákny se zlepšila soudržnost materiálu viz. Obr. 48. na základě těchto výsledků jsem se nakonec rozhodl pro další fáze experimentu použít vlákna ANTI-CRACK HP-12MM.



Obr. 48: Tělesa po stanovení pevnosti v tahu ohybem a v tlaku



Obr. 49: Grafické znázornění pevností v tahu za ohybu směsí se skleněnými vlákny



Obr. 50: Grafické znázornění pevností v tlaku směsí se skleněnými vlákny

12. Návrh vysokopevnostního alkalicky aktivovaného systému

V poslední části experimentu jsem se zaměřil na přípravu konečného kompozitu, jenž bude obsahovat vybrané přísady a příměsi na základě výsledků předchozích etap.

Připraveny budou dvě směsi. Jedna bude obsahovat vysokopecní granulovanou strusku, aktivátor, vodu, mikrosiliku, Rheobuild® 1026, ANTI-CRACK HP-12MM a normový křemičitý písek. Ve druhé receptuře bude pouze normový křemičitý písek nahrazen čedičem frakce 0/4.

V této fázi práce jsem připravoval tělesa ve formě trámečků o rozměrech (40x40x160) mm a dále také tělesa pro zkoušení betonů, tedy krychle o rozměrech (100x100x100) mm a trámce o rozměrech (100x100x400) mm.

12.1. Směs s pískem

- Receptura:

405 g VGS
45 g Mikrosiliky
120 ml aktivátoru
90 g vody
5 g Rheobuild
5 g ANTI-CRACK HP-12MM
1350 g normový písek

- Výsledky:

U této směsi byly stanoveny pevnosti tahu za ohybu a tlaku na trámečcích (Obr. 51 - 52), dále byly stanoveny pevnosti v tlaku na krychlích (Obr. 53). Po 28 dnech zrání bylo provedeno stanovení modulu pružnosti (Obr. 54).

Všechny výsledky zkoušek jsou uvedeny v tabulkách (Tab. 17 - 18). Výsledné hodnoty modulu pružnosti jsou uvedeny v Tab. 19 a graficky jsou znázorněny závislosti zatížení na čase (Obr. 55), deformace na čase (Obr. 56) a deformace v závislosti na zatížení (Obr. 57).

Tab. 17: Výsledné charakteristiky trámečků směsi s pískem

1 denní pevnost									
Název vzorku	Rozměry			Tah (ohyb)		Tlak		Váha [kg]	Objemová hmotnost [kg/m ³]
	Výška [mm]	Šířka [mm]	Délka [mm]	Síla [kN]	Pevnost [MPa]	Síla [kN]	Pevnost [MPa]		
ZSPT1	40,00	40,09	160,00	0,43	0,6	8,52	5,3	0,564	2200
7 denní pevnost									
Název vzorku	Rozměry			Tah (ohyb)		Tlak		Váha [kg]	Objemová hmotnost [kg/m ³]
	Výška [mm]	Šířka [mm]	Délka [mm]	Síla [kN]	Pevnost [MPa]	Síla [kN]	Pevnost [MPa]		
ZSPT7	40,00	41,14	160,00	0,60	1,3	10,68	6,7	0,593	2250
28 denní pevnost									
Název vzorku	Rozměry			Tah (ohyb)		Tlak		Váha [kg]	Objemová hmotnost [kg/m ³]
	Výška [mm]	Šířka [mm]	Délka [mm]	Síla [kN]	Pevnost [MPa]	Síla [kN]	Pevnost [MPa]		
ZSPT28	40,00	40,15	160,00	2,60	6,13	60,32	37,9	0,576	2240

Tab. 18: Výsledné charakteristiky krychlí směsi s pískem

1 denní pevnost							
Název vzorku	Rozměry			Váha [kg]	Pevnost v tlaku		Objemová hmotnost [kg/m ³]
	Výška [mm]	Šířka [mm]	Délka [mm]		Síla [kN]	Pevnost [MPa]	
ZSPK1	100,00	97,67	100,00	2,173	28,70	3,0	2220
7 denní pevnost							
Název vzorku	Rozměry			Váha [kg]	Pevnost v tlaku		Objemová hmotnost [kg/m ³]
	Výška [mm]	Šířka [mm]	Délka [mm]		Síla [kN]	Pevnost [MPa]	
ZSPK7	100,00	98,00	100,00	2,217	52,97	5,4	2260
28 denní pevnost							
Název vzorku	Rozměry			Váha [kg]	Pevnost v tlaku		Objemová hmotnost [kg/m ³]
	Výška [mm]	Šířka [mm]	Délka [mm]		Síla [kN]	Pevnost [MPa]	
ZSPK28	100,00	99,33	100,00	2,143	404,23	40,7	2160



Obr. 51: Trámeček směsi s pískem po zkoušce pevnosti v tahu za ohybu



Obr. 52: Trámeček směsi s pískem po zkoušce pevnosti v tlaku



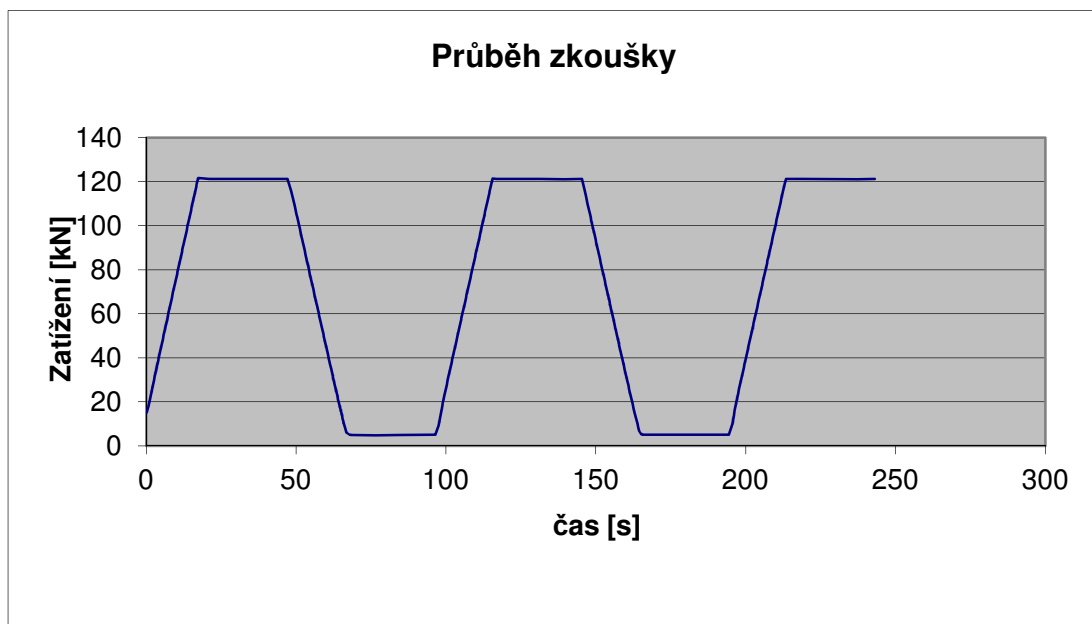
Obr. 53: Krychle směsi s pískem po stanovení pevnosti v tlaku



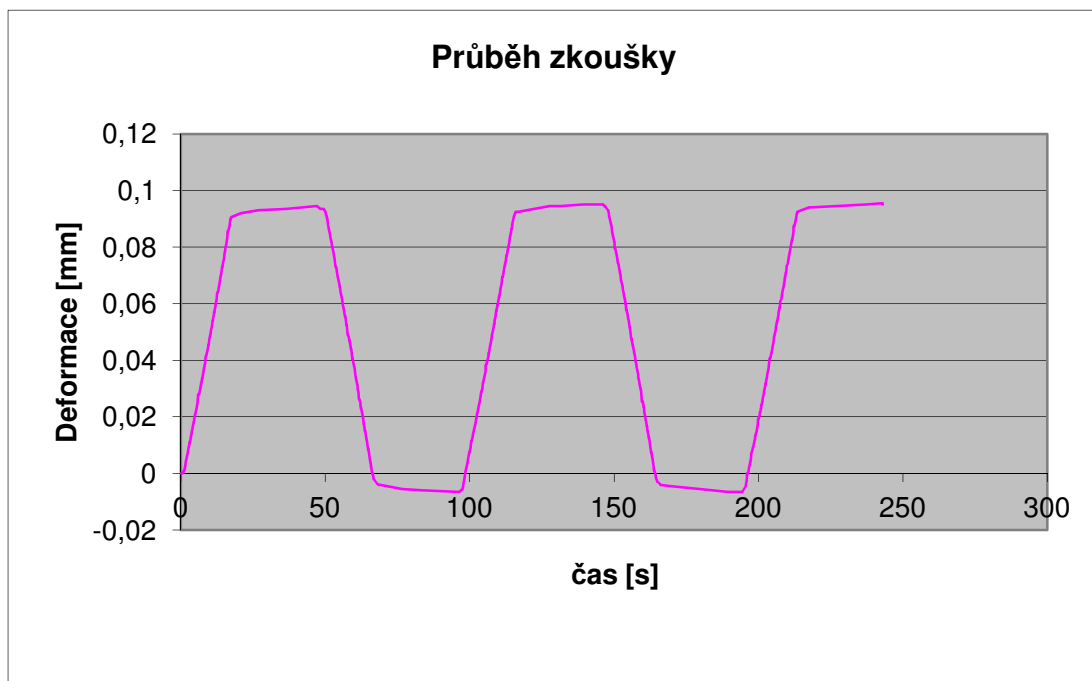
Obr. 54: Trámec směsi s pískem před stanovením modulu pružnosti

Tab. 19: Výsledná hodnota statického modulu pružnosti včetně deformací tělesa

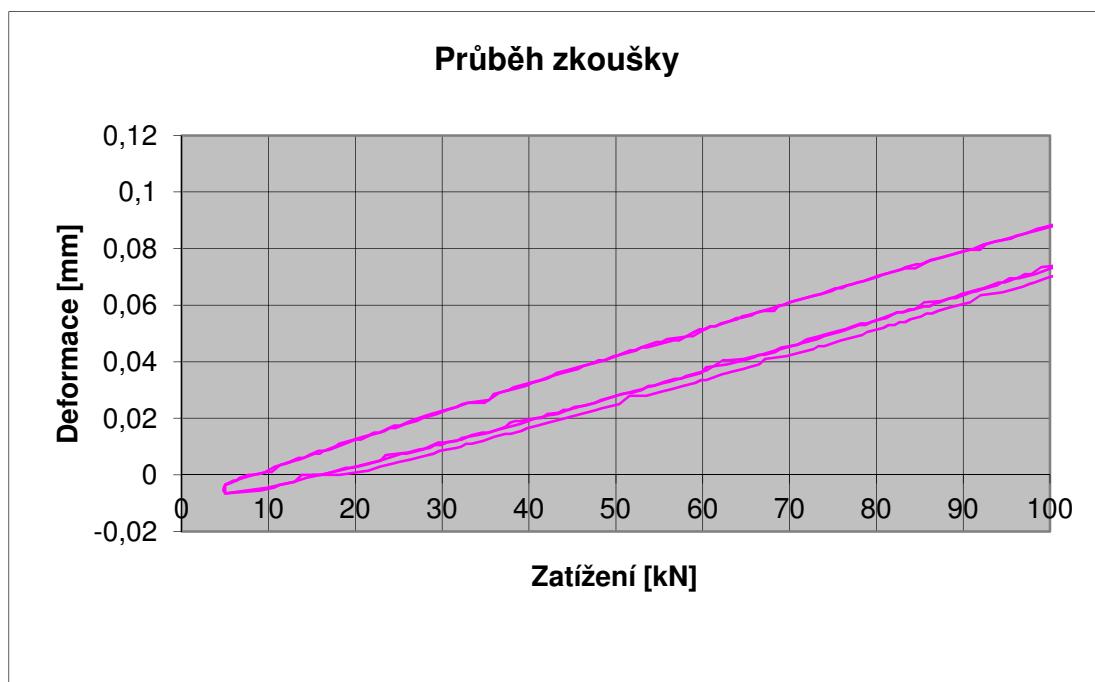
mm			KN		mm				
Délka	Šířka	Výška	Zatížení A max	Zatížení B	def. A max	def. B	pom. def. A max	pom. Def. B	délka měřicí základny L
400	100,2	100,1	12	0,5	0,0955	-0,0065	0,0004775	-0,0000325	200
Statický modul pružnosti									
22,5 GPa									



Obr. 55: Grafické vyjádření působení zatížení v závislosti na čase při stanovení modulu pružnosti



Obr. 56: Grafické vyjádření působení deformace v závislosti na čase při stanovení modulu pružnosti



Obr. 57: Grafické vyjádření působení deformace v závislosti na zatížení při stanovení modulu pružnosti

12.2. Směs s čedičem

- Receptura:

405 g VGS
 45 g Mikrosiliky
 120 ml aktivátoru
 90 g vody
 5 g Rheobuild
 5 g ANTI-CRACK HP-12MM
 1350 g čedič frakce 0/4

- Výsledky:

U této směsi byly stanoveny pevnosti tahu za ohybu a tlaku na trámečkách (Obr. 58 - 59), dále byly stanoveny pevnosti v tlaku na krychlích (Obr. 60). Po 28 dnech zrání bylo provedeno stanovení modulu pružnosti (Obr. 61). Všechny výsledky zkoušek jsou uvedeny v tabulkách (Tab. 20 - 21). Výsledné hodnoty modulu pružnosti jsou uvedeny v Tab. 22 a graficky jsou znázorněny závislosti zatížení na čase (Obr. 62), deformace na čase (Obr. 63) a deformace v závislosti na zatížení (Obr. 64).

Tab. 20: Výsledné charakteristiky trámeček směsi s čedičem

Závěrečná směs s čedičem trámečky									
1 denní pevnost									
Název vzorku	Rozměry			Tah (ohyb)		Tlak		Váha [kg]	Objemová hmotnost [kg/m ³]
	Výška [mm]	Šířka [mm]	Délka [mm]	Síla [kN]	Pevnost [MPa]	Síla [kN]	Pevnost [MPa]		
ZSČ 1	40,00	39,94	160,00	0,50	1,2	14,58	9,2	0,635	2480

Tab. 21: Výsledné charakteristiky krychlí směsi s čedičem

1 denní pevnost							
Název vzorku	Rozměry			Váha [kg]	Pevnost v tlaku		Objemová hmotnost [kg/m ³]
	Výška [mm]	Šířka [mm]	Délka [mm]		Síla [kN]	Pevnost [MPa]	
ZSČ1	100,00	99,33	100,00	2,484	68,33	6,9	2500
28 denní pevnost							
Název vzorku	Rozměry			Váha [kg]	Pevnost v tlaku		Objemová hmotnost [kg/m ³]
	Výška [mm]	Šířka [mm]	Délka [mm]		Síla [kN]	Pevnost [MPa]	
ZSČ28	100,00	94,67	100,00	2,300	51,87	5,5	2430



Obr. 58: Trámeček směsi s čedičem po stanovení pevnosti v tahu za ohybu



Obr. 59: Trámeček směsi s čedičem po stanovení pevnosti v tlaku



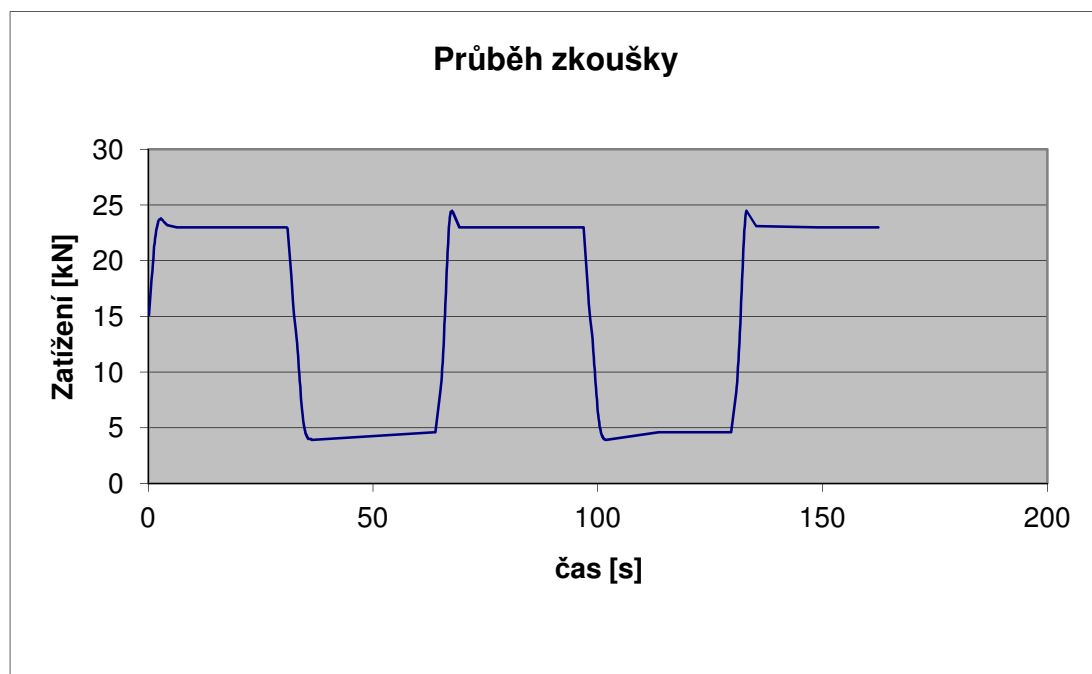
Obr. 60: Krychle směsi s čedičem po stanovení pevnosti v tlaku



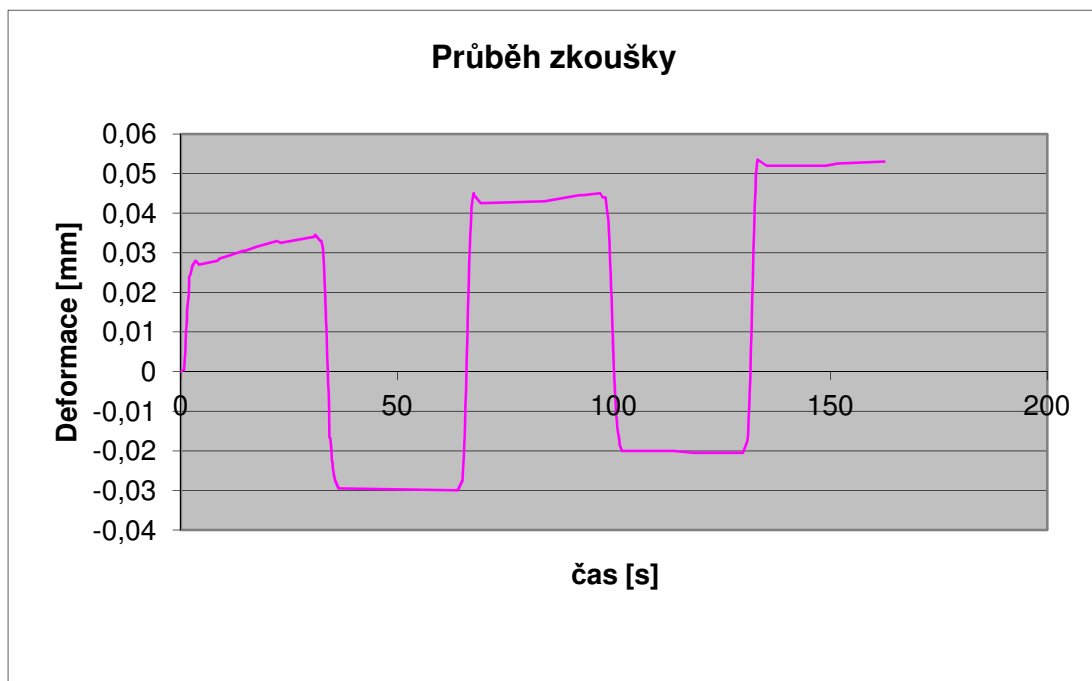
Obr. 61: Trámec směsi s čedičem před stanovením modulu pružnosti

Tab. 22: Výsledná hodnota statického modulu pružnosti včetně deformací tělesa

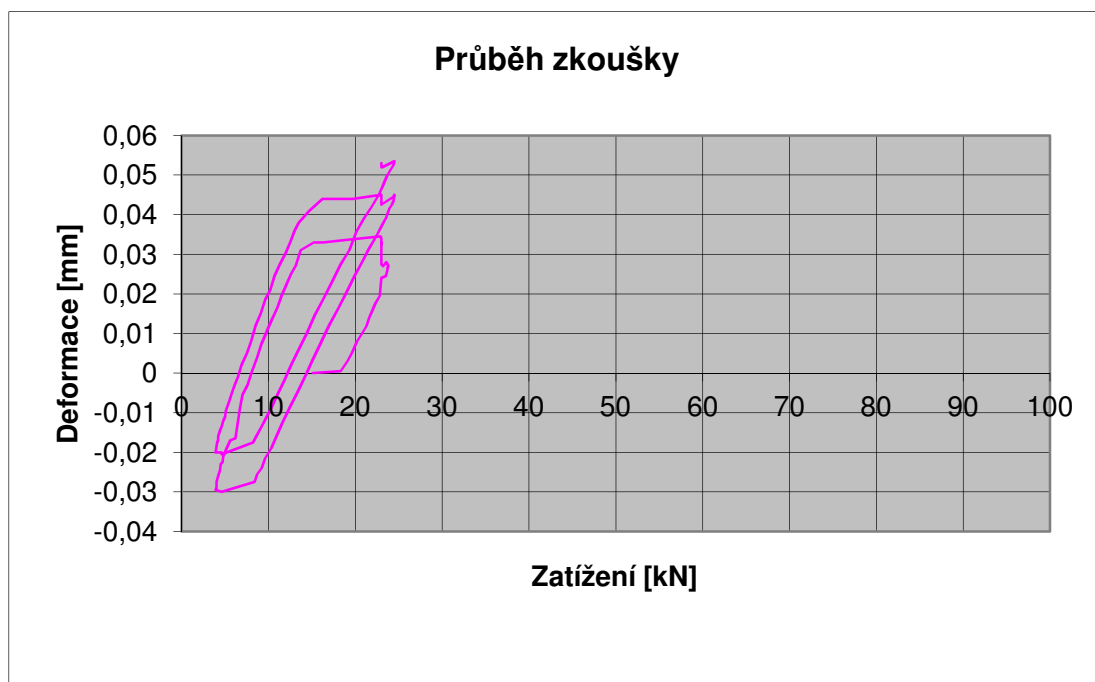
mm			kN		mm				
Délka	Šířka	Výška	Zatížení A max	Zatížení B	def. A max	def. B	pom. def. A max	pom. Def. B	délka měřicí základny L
400	93	99	2,5	0,5	0,0535	-0,0205	0,0002675	-0,0001025	200
Statický modul pružnosti									
5,4 GPa									



Obr. 62: Grafické vyjádření působení zatížení v závislosti na čase při stanovení modulu pružnosti



Obr. 63: Grafické vyjádření působení deformace v závislosti na čase při stanovení modulu pružnosti

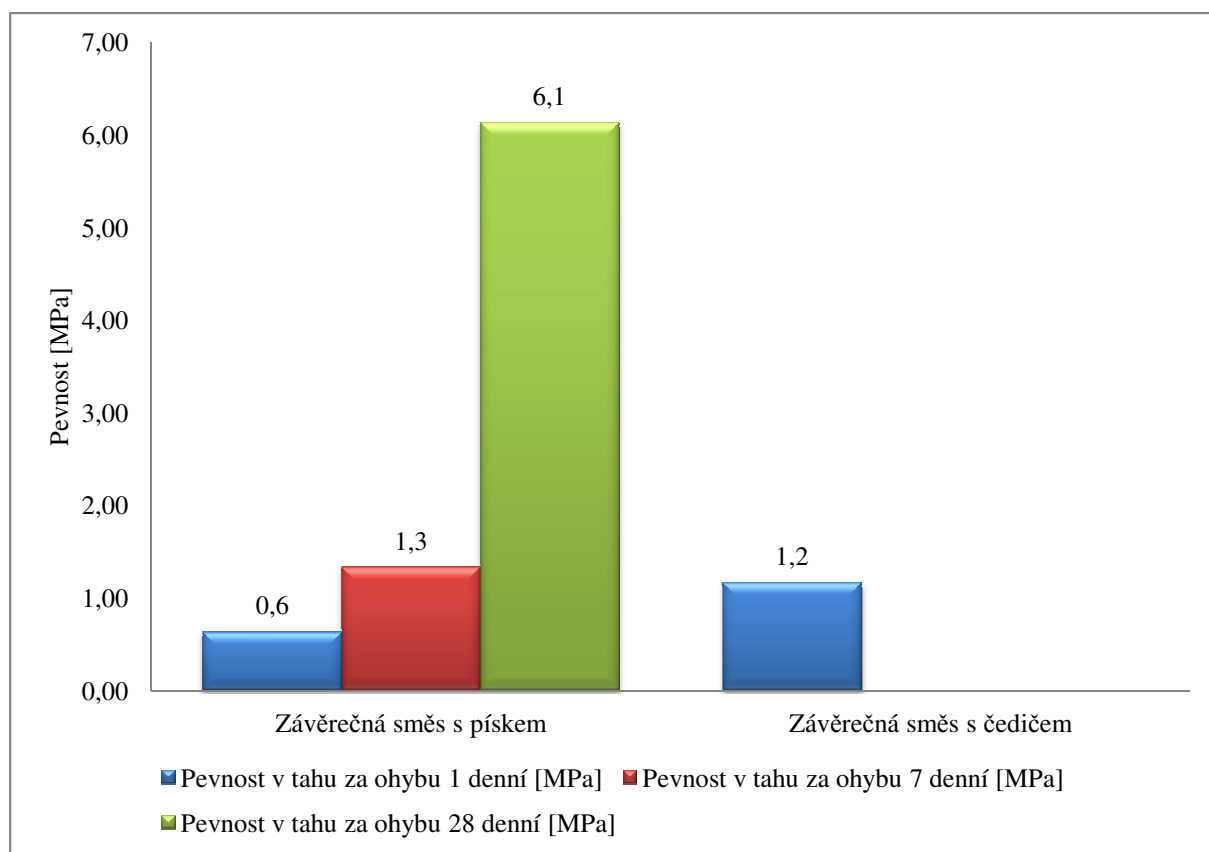


Obr. 64: Grafické vyjádření působení deformace v závislosti na zatížení při stanovení modulu pružnosti

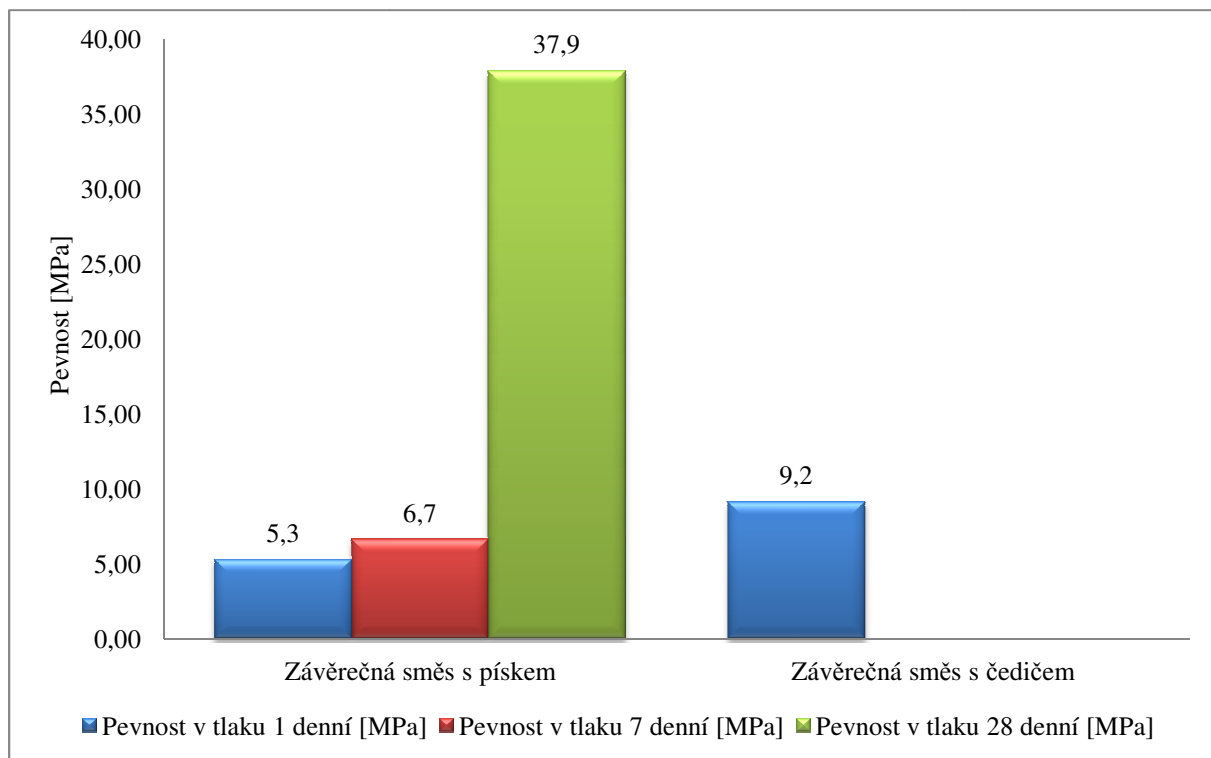
12.3. Vyhodnocení

V této finální fázi práce byly navrženy dvě receptury, u nichž byly použity složky na základě předchozích etap výzkumu, které měly pozitivní vliv na konečné vlastnosti směsí a u nichž bylo předpokládáno, že jejich vzájemnou kombinací vznikne kompozit s vysokopevnostními vlastnostmi.

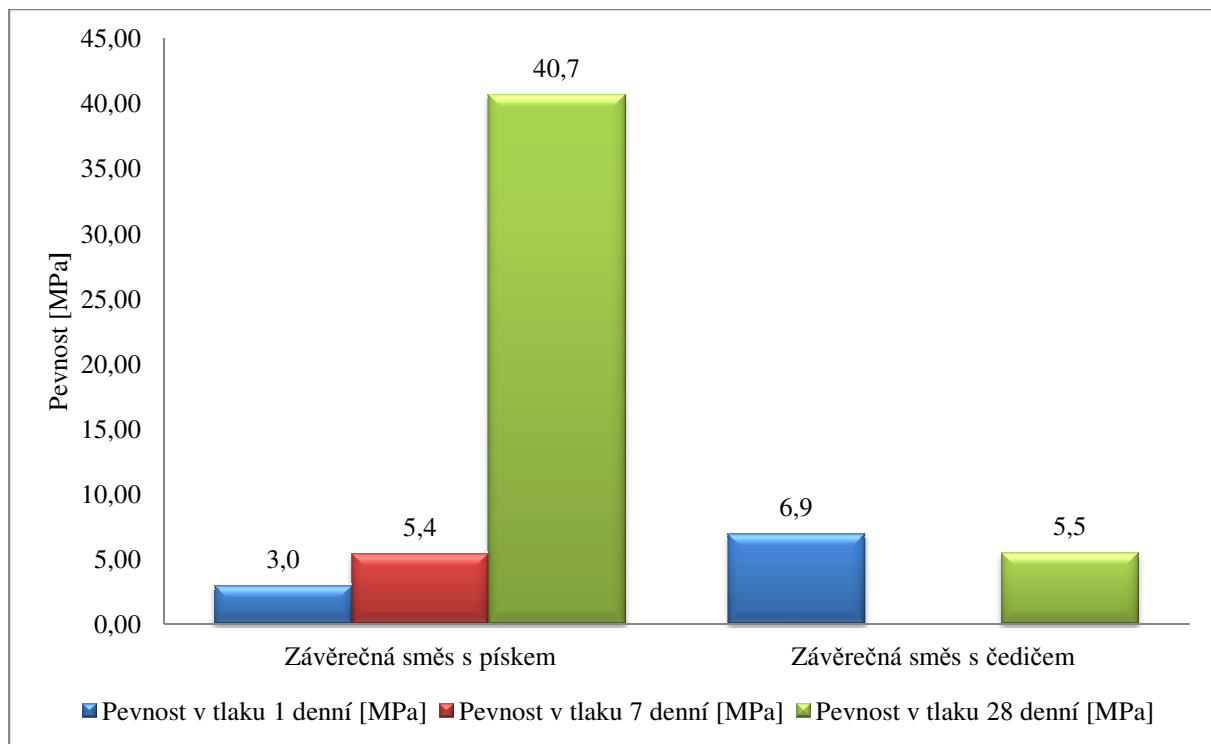
Bohužel se v rámci experimentu nepodařilo tato očekávání naplnit, konečné vlastnosti receptur jsou zřejmé z Obr. 65 - 67, kdy na Obr. 65 - 66 jsou výsledky testovaných trámeček, na Obr. 67 jsou znázorněny výsledky pevností v tlaku stanovené na krychlích. U Obr. 65 - 66 chybí výsledky po 7 a 28 dnech zrání směsi s čedičem, stejně tak na Obr. 67, neboť ve vodní lázni došlo k totálnímu rozpadu vyrobených těles.



Obr. 65: Grafické znázornění vývoje pevností v tahu ohybem u směsí s pískem a čedičem



Obr. 66: Grafické znázornění vývoje pevností v tlaku u směsí s pískem a čedičem



Obr. 67: Grafické znázornění vývoje pevností v tlaku na krychlích u směsí s pískem a čedičem

13. Závěr

Cílem práce byla příprava vysokopevnostních alkalicky aktivovaných systémů, a to zejména uplatněním zásad pro výrobu vysokopevnostních betonů. V práci byly aplikovány a ověřovány vlivy jemnozrnných příměsí, minimalizace vodního součinitele, použití superplastifikátorů a vhodného typu kameniva. Výzkum byl rozdělen do několika etap.

První etapa se zabývala vhodným množstvím vody v referenční směsi. Důležité pro tento krok bylo rozlití referenční směsi a cílem bylo optimální rozlití okolo 120 - 140 mm. Ve druhé etapě bylo prioritou nalezení vhodného druhu superplastifikátoru. Testovány byly tři typy plastifikátorů, u nichž existovaly předpoklady, že by se v alkalicky aktivovaných systémech mohly uplatnit požadovaným způsobem. Ve třetí etapě jsem hledal vhodnou jemnozrnnou příměs, která by v kombinaci s vysokopevní granulovanou struskou dosahovala vyšších pevností než referenční směs. Čtvrtá etapa byla věnována výběru vhodného kameniva, díky němuž by finální směs získala velmi tvrdou kostru a dosáhla by tak tím vyšších pevností. Pátá etapa ověřovala vlastnosti připraveného systému, v němž byla použita skleněná vlákna.

Bylo zjištěno, že u směsí s plastifikátorem RHEOBUILD® 1026 bylo dosaženo ztekucení směsi při zachování původního vodního součinitele, rozlití se zvětšilo o cca 15 mm. Použití jemnozrnných příměsí mělo za následek nárůst pevnosti v tlaku po 28 dnech. Nejmarkantnější byl nárůst u směsi s mikrosilikou, která dosáhla pevností 98,5 MPa. Ostatní směsi s jemnými podíly sice nedosahovaly tak vysokých hodnot, ale všechny překonaly hranici 90 MPa. Nahrazení plniva, tedy normalizovaného písku, korundem, čedičem a žulou mělo za následek snížení pevností v tlaku, kdy ani jeden z použitých typů kameniva nedosáhl stejné pevnosti jako referenční směs. Vyšší pevnosti dosáhla jen směs s čedičem po 7 dnech.

Finální část práce byla věnována přípravě a ověření vlastností směsí, které byly navrženy na základě výsledků předchozích etap. Vysokopevnostní alkalicky aktivovaný systém byl připraven ze surovin, které dosahovaly nejlepších požadovaných hodnot. Byl to již zmiňovaný RHEOBUILD® 1026, mikrosilika a vlákna ANTI-CRACK HP-12MM. Plnivem byl v jednom případě čedič a v druhém případě byl ponechán jako plnivo normalizovaný písek.

U finálních směsí výsledky bohužel nepotvrdily předpoklady vycházející ze zásad navrhování vysokopevnostních betonů.

Bude nutné ověřit vlastnosti alkalicky aktivovaných systémů na bázi sodného vodního skla. Současné výsledky totiž vypovídají o změně chemismu při zachování stejného silikátového modulu, jenž byl laboratorně ověřován poté, co se i v rámci dalších výzkumných prací, probíhajících v laboratoři stavebních hmot FAST, VŠB - TUO a zabývajících se přípravou alkalicky aktivovaných hmot, začaly vyskytovat neodůvodněně nízké hodnoty pevností a nedostatečné odolnostní parametry u připravených směsí.

V navazujícím studiu bych chtěl v tomto výzkumu pokračovat, jako vhodným námětem se jeví záměna nebo rozšíření počtu používaných aktivátorů například o draselné vodní sklo, a nebo suchý aktivátor metakřemičitan sodný.

14. Poděkování

Mé poděkování patří hlavně vedoucí bakalářské práce Ing. Janě Boháčové za konzultace, cenné rady a pomoc při práci. Také je mé poděkování směřováno celé Katedře stavebních hmot a diagnostiky staveb za pomoc při výzkumné práci.

15. Použitá literatura

- [1] DAVIDOVITS, J. *Geopolymer Chemistry and Applications 3rd edition*. Institut Géopolymère 16 rue Galilée F-02100 Saint-Quentin France
- [2] ŠKVÁRA, F. *Alkalicky aktivované materiály - geopolymery*. Praha, 2007. ISBN 978-80-7080-004-1. Dostupné z: <http://www.vscht.cz>. VŠCHT v Praze, Ústav skla a keramiky.
- [3] BOHÁČOVÁ, J., STANĚK, S., VAVRO, M. Možnosti aplikace alkalicky aktivovaných systémů ve stavebnictví. *Sborník vědeckých prací Vysoké školy báňské - Technické univerzity Ostrava*. Číslo 2, rok 2012, ročník XII, řada stavební, článek č. 8
- [4] SVOBODA, L., a kol. *Stavební hmoty*. Praha, 2013. 3. vydání.
- [5] JEDLA, P. *Příklady a příměsi pro výrobu vysokohodnotných betonů*. Bakalářská práce. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně. Fakulta technologická, 2010, 52 s.
- [6] Pontex spol. s.r.o. *Vysokohodnotné betony pro mosty*. PK. Praha, červen 2010.
- [7] ŠVRČINOVÁ, R. *Materiálové využití strusek z železa a oceli*. VŠB-TUO. Fakulta metalurgie a materiálového inženýrství, 2010, Ostrava, 32 s.
- [8] MELICHAR, T., PROCHÁZKA, D. *Studium vlivu jemnozrnných příměsí z alternativních zdrojů na fyzikálně-mechanické parametry HSC*. Beton TKS, s.r.o. Praha, 2011.
- [9] Sedlecký kaolin a.s. *Metakaolin*. Sedlecký kaolin a.s., Božičany.
- [10] GLENium® SKY 665, BASF The chemical company. Dostupné na: www.basf-cc.cz/cs/produkty/prisadydobetonu/plastifikacniasuperplastifikacniprisady/superplastifikacnip/gleniumsky665/Documents/tl_glenium_sky_665.pdf
- [11] RHEOBUILD® 1026, BASF The chemical company. Dostupné na: www.basf-cc.cz/cs/produkty/prisadydobetonu/plastifikacniasuperplastifikacniprisady/superplastifikacniprisadykromePCEbaze/rheobuild1026/Documents/tl_rheobuild_1026.pdf
- [12] Castament® FS 65, BASF The chemical company. Dostupné na: www.dispersions-pigments.basf.com/portal/load/fid771449/Castament_FS65_e.pdf
- [13] Časopis stavebnictví, EXPO DATA spol. s.r.o.. Dostupné na: www.casopisstavebnictvi.cz/vyskove-budovy-a-vysokohodnotny-beton_N2358
- [14] EBETON, Sunnysoft s.r.o.. Dostupné na: www.ebeton.cz/pojmy/vysokopevnostni-beton-hsc
- [15] Kolektiv Autorů. 2007 - *International Conference Alkali Activated Materials - Research, Production and Utilization*. Sborník konference. Praha, 2007. ISBN 978-80-86742-18-2 722 s.

- [16] ČSN EN 196-1. *Metody zkoušení cementu: Část 1: Stanovení pevnosti*. Český normalizační institut, 2005.
- [17] ČSN EN 1015-3. *Zkušební metody malt pro zdivo: Část 3: Stanovení konzistence čerstvé malty (s použitím střešacího stolku)*. Český normalizační institut, 2000.
- [18] PROSKAM, PROSKAM s.r.o. Dostupná na: www.proskam.cz/kamen.html
- [19] Wikipedie, cs.wikipedia.org. Dostupné na: cs.wikipedia.org/wiki/Čedič
- [20] Wikipedie, cs.wikipedia.org. Dostupné na: cs.wikipedia.org/wiki/Žula
- [21] MD PŘÍRODNÍ KÁMEN, Copyright2014Miroslav Drozd. Dostupné na: www.mdrozdz.cz/zula/
- [22] Žula Rácov, Žula Rácov s.r.o. Dostupné na: www.zula-racov.cz/lozisko.htm
- [23] Wikipedie, cs.wikipedia.org. Dostupné na: cs.wikipedia.org/wiki/Korund
- [24] Přehled minerálů a hornin, Jakub Fiala - Servisní středisko pro e-learning MU. Dostupné na: is.muni.cz/elportal/estud/pdf/js07/mineraly/materialy/mineraly/oxidy_korund.html
- [25] Korund, Ústav geochemie, mineralogie a nerostných zdrojů, Univerzita Karlova, Přírodovědecká fakulta. Dostupné na: web.natur.cuni.cz/ugmnz/mineral/mineral/korund.html
- [26] Anti-Crack®, OCV™Reinforcements. Dostupné na: www.ocvreinforcements.com/pdf/library/Cemfil_Anticrak_range_ww_12_2008_Rev1.pdf
- [27] ČSN ISO 6784. *BETON. Stanovení statického modulu pružnosti v tlaku*. Federální úřad pro normalizaci a měření, Leden 1993.
- [28] ČSN EN 933-1. *Zkoušení geometrických vlastností kameniva - Část1: Stanovení zrnitosti - Sítový rozbor*. Český normalizační institut, 1997.

16. Seznam Obrázků

Obr. 1: Davidovitsův model

Obr. 2: Barbosův model

Obr. 3: Struktura skla

Obr. 4: Průběh alkalické aktivace různých hlinitokřemičitanových materiálů

Obr. 5: Vztah mezi vodním součinitelem a pevností betonu

Obr. 6: Hydratace cementu v závislosti na vodním součiniteli

Obr. 7: Pohled na Musashi Kosugi Tower v Tokyu

Obr. 8: Trump International Hotel and Tower v Chicagu

Obr. 9: Křivka zrnitosti normalizovaného písku CEN

Obr. 10: Referenční směs po zkoušce pevnosti v tahu za ohybu

Obr. 11: Referenční směs po zkoušce pevnosti v tlaku

Obr. 12: Referenční směs po provedení zkoušky rozlití.

Obr. 13: GLENIUM[®] SKY 665 po provedení zkoušky rozlití.

Obr. 14: RHEOBUILD[®] 1026 5g po provedení zkoušky rozlití.

Obr. 15: RHEOBUILD[®] 1026 15g po provedení zkoušky rozlití.

Obr. 16: Castament[®] FS 65 2 g po provedení zkoušky rozlití.

Obr. 17: Grafické znázornění výsledků zkoušky rozlití směsí se superplastifikátory

Obr. 18: Směs s obsahem 5g RHEOBUILDU[®] 1026 po zkoušce pevnosti v tahu za ohybu

Obr. 19: Směs s obsahem 5g RHEOBUILDU[®] 1026 po zkoušce pevnosti v tlaku

Obr. 20: Směs s obsahem 15g RHEOBUILDU[®] 1026 po zkoušce pevnosti v tahu za ohybu

Obr. 21: Směs s obsahem 15g RHEOBUILDU[®] 1026 po zkoušce pevnosti v tlaku

Obr. 22: Směs s obsahem 2g Castamentu[®] FS 65 po zkoušce pevnosti v tahu za ohybu

Obr. 23: Směs s obsahem 2g Castamentu[®] FS 65 po zkoušce pevnosti v tlaku

Obr. 24: Grafické znázornění pevnosti v tahu za ohybu směsí se superplastifikátory

Obr. 25: Grafické znázornění pevnosti v tlaku směsí se superplastifikátory

Obr. 26: Směs s I-Metou po zkoušce pevnosti v tahu za ohybu

Obr. 27: Směs s I-Metou po zkoušce pevnosti v tlaku

Obr. 28: Směs s N-Metou po zkoušce pevnosti v tahu za ohybu

Obr. 29: Směs s N-Metou po zkoušce pevnosti v tlaku

Obr. 30: Směs s Mikrosilikou po zkoušce pevnosti v tahu za ohybu

Obr. 31: Směs s Mikrosilikou po zkoušce pevnosti v tlaku

Obr. 32: Grafické znázornění pevností v tahu za ohybu směsí s jemnými podíly

Obr. 33: Grafické znázornění pevností v tlaku směsí s jemnými podíly

Obr. 34: Křivka zrnitosti korundu

Obr. 35: Směs s Korundem po zkoušce pevnosti v tahu za ohybu

Obr. 36: Směs s Korundem po zkoušce pevnosti v tlaku

Obr. 37: Křivka zrnitosti čediče

Obr. 38: Směs s Čedičem po zkoušce pevnosti v tahu za ohybu

Obr. 39: Směs s Čedičem po zkoušce pevnosti v tlaku

Obr. 40: Směs s Žulou po zkoušce pevnosti v tahu za ohybu

Obr. 41: Směs s Žulou po zkoušce pevnosti v tlaku

Obr. 42: Grafické znázornění pevností v tahu za ohybu směsí s různými druhy kameniva

Obr. 43: Grafické znázornění pevností v tlaku směsí s různými druhy kameniva

Obr. 44: Směs s ANTI-CRACK HP-6MM po zkoušce pevnosti v tahu za ohybu

Obr. 45: Směs s ANTI-CRACK HP-6MM po zkoušce pevnosti v tlaku

Obr. 46: Směs s ANTI-CRACK HP-12MM po zkoušce pevnosti v tahu za ohybu

Obr. 47: Směs s ANTI-CRACK HP-12MM po zkoušce pevnosti v tlaku

Obr. 48: Tělesa po stanovení pevnosti v tahu za ohybu a v tlaku

Obr. 49: Grafické znázornění pevností v tahu za ohybu směsí se skleněnými vlákny

Obr. 50: Grafické znázornění pevností v tlaku směsí se skleněnými vlákny

Obr. 51: Trámeček směsi s pískem po zkoušce pevnosti v tahu za ohybu

Obr. 52: Trámeček směsi s pískem po zkoušce pevnosti v tlaku

Obr. 53: Krychle směsi s pískem po zkoušce pevnosti v tlaku

Obr. 54: Trámec směsi s pískem před zkouškou modulu pružnosti

Obr. 55: Grafické vyjádření působení zatížení v závislosti na čase při stanovení modulu pružnosti

Obr. 56: Grafické vyjádření působení deformace v závislosti na čase při stanovení modulu pružnosti

Obr. 57: Grafické vyjádření působení deformace v závislosti na zatížení při zkoušce modulu pružnosti

Obr. 58: Trámeček směsi s čedičem po zkoušce pevnosti v tahu za ohybu

Obr. 59: Trámeček směsi s čedičem po zkoušce pevnosti v tlaku

Obr. 60: Krychle směsi s čedičem po zkoušce pevnosti v tlaku

Obr. 61: Trámec vysokopevnostní směsi s čedičem před zkouškou modulu pružnosti

Obr. 62: Grafické vyjádření působení zatížení v závislosti na čase při stanovení modulu pružnosti

Obr. 63: Grafické vyjádření působení deformace v závislosti na čas při zkoušce modulu pružnosti

Obr. 64: Grafické vyjádření působení deformace v závislosti na zatížení při zkoušce modulu pružnosti

Obr. 65: Grafické znázornění vývoje pevností v tahu ohybem na trámečcích u směsí s pískem a čedičem

Obr. 66: Grafické znázornění vývoje pevností v tlaku na trámečcích u směsí s pískem a čedičem

Obr. 67: Grafické znázornění vývoje pevností v tlaku na krychlích u směsí s pískem a čedičem

17. Seznam tabulek

- Tab. 1: Třídy pevností vysokopevnostních betonů
- Tab. 2: Technické údaje superplastifikátoru GLENIUM® SKY 665
- Tab. 3: Technické údaje superplastifikátoru RHEOBUILD® 1026
- Tab. 4: Technické údaje superplastifikátoru Castament® FS 65
- Tab. 5: Výsledné charakteristiky referenční směsi
- Tab. 6: Výsledné charakteristiky směsi obsahující 5g RHEOBUILDU® 1026
- Tab. 7: Výsledné charakteristiky směsi obsahující 15g RHEOBUILDU® 1026
- Tab. 8: Výsledné charakteristiky směsi obsahující 2g Castament® FS65
- Tab. 9: Výsledné charakteristiky po přidání jemného podílu I-Meta
- Tab. 10: Výsledné charakteristiky po přidání jemného podílu N-Meta
- Tab. 11: Výsledné charakteristiky po přidání jemného podílu Mikrosilika
- Tab. 12: Výsledné charakteristiky směsi s korundem
- Tab. 13: Výsledné charakteristiky směsi s čedičem
- Tab. 14: Výsledné charakteristiky směsi s žulou
- Tab. 15: Výsledné charakteristiky směsi s ANTI-CRACK HP-6MM
- Tab. 16: Výsledné charakteristiky směsi s ANTI-CRACK HP-12MM
- Tab. 17: Výsledné charakteristiky trámečků směsi s pískem
- Tab. 18: Výsledné charakteristiky krychlí směsi s pískem
- Tab. 19: Výsledná hodnota statického modulu pružnosti včetně deformací tělesa
- Tab. 20: Výsledné charakteristiky trámečků směsi s čedičem
- Tab. 21: Výsledné charakteristiky krychlí směsi s čedičem
- Tab. 22: Výsledná hodnota statického modulu pružnosti včetně deformací tělesa

18. Seznam příloh

Příloha 1	Technický list superplastifikátoru GLENIUM® SKY 665
Příloha 2	Technický list superplastifikátoru RHEOBUILD® 1026
Příloha 3	Technický list superplastifikátoru Castament® FS 65
Příloha 4	Technický list ANTI-CRACK HP
Příloha 5	Certifikát normový křemičitý písek
Příloha 6	Technický list metakaolinu I-META 4
Příloha 7	Technický list metakaolinu N-META 4
Příloha 8	Technický list vysokopecní granulované strusky
Příloha 9	Materiálový list hydroxidu sodného
Příloha 10	Technický list vodního skla



GLENIUM® SKY 665

Univerzální superplastifikační přísada na bázi polykarboxyláteteru, určená pro výrobu transportbetonu.

Přísada odpovídá normě pro přísady ČSN EN 934-2.

Použití

GLENIUM® SKY 665 vykazuje dobrý plastifikační účinek a zároveň výborně zachovává konzistenci, zejména v betonech klasifikační třídy podle konzistence F 3 až F 6 dle ČSN EN 206. Přísada **GLENIUM® SKY 665** je na základě svých mnohotvárných vlastností zvláště vhodná pro výrobu transportbetonu.

Působení

GLENIUM® SKY 665 vykazuje ve srovnání s běžně používanými superplastifikačními přísadami výrazně lepší rozptýlení cementových částic. Vzniká velmi dobře zpracovatelný čerstvý beton s vysokou stabilitou. **GLENIUM® SKY 665** způsobuje na základě své molekulární struktury velmi dobré ztekucení, s dlouhotrvajícím účinkem. Zároveň beton vykazuje zvýšenou robustnost proti kolísání teploty, kvalitě vstupních materiálů a obsahu vody. Beton obsahující **GLENIUM® SKY 665** má podobný průběh konzistence v širokém rozsahu dávkování.

Technické údaje

skupenství	kapalina
barva	hnědá
obl. hmotnost (při +20 °C)	1,05 +0,02 g/cm ³
hodnota pH (při +20 °C)	6,0 ±1,0 po výrobě
obsah chloridů max.	0,1 % hm.
obsah alkálií max. (ekvivalent Na ₂ O)	1,1 % hm.

Zpracování

Do betonové směsi se doporučuje přidat přísadu společně s poslední třetinou záměsové vody. Je nutné dodržet dostatečnou dobu pro zamíchání přísady do směsi k získání potřebných vlastností.

Dávkování

Doporučené dávkování: 0,2 % až 3,0 % hmotnosti cementu. Před použitím je nutné provést průkazní zkoušku dle ČSN EN 206 pro stanovení optimálních poměrů a dávkování.

Skladování

Chraňte před mrazem a znečištěním. Při obvyklém skladování (uzavřená nádoba, +20 °C) je výrobek použitelný minimálně po dobu 1 roku.

Při skladování je třeba dodržovat předpisy pro zařízení, které nakládají s látkami, které mohou ohrozit kvalitu vodních zdrojů.

Balení

- kanystr 25 kg
- sud 220 kg
- kontejner 1 000 kg
- cisterna

Bezpečnostní pokyny

Přísada nemá charakter nebezpečné látky ve smyslu zákona č. 356/2003 Sb., v platném znění. Při odborném používání nemá přísada žádný nepříznivý vliv na zdraví. Při manipulaci s chemikálií dodržujte běžná bezpečnostní opatření. Znečištěný oděv odložte, v případě potřísnění kůže opláchnout vodou. Je třeba zabránit úniku látky do kanalizace, povrchových a spodních vod. Pokyny pro první pomoc, bezpečnostní pokyny a pokyny pro odstraňování látky a obalů jsou uvedeny v bezpečnostním listu.

Technická podpora

Príslušný spolupracovník firmy BASF Stavební hmoty Česká republika s.r.o. je Vám s dalšími informacemi a technickou podporou rád k dispozici.



The Chemical Company

RHEOBUILD® 1026

(Woerment FM 26)

Superplastifikační přísada pro transportbetony, pro prefa výrobu, pro provzdušněné betony a injektáže mikrocementy Rheocem®. Příklad odpovídá normě ČSN EN 934-2.

Použití

- Superplastifikační přísada pro výrobu tekuté betonové směsi obecně, speciálně pro výrobu provzdušněných transportbetonů.
- RHEOBUILD® 1026 lze skvěle kombinovat s provzdušňovacími přísadami MICRO-AIR®, přičemž vykazuje velice dobrou schopnost udržet strukturu mikropórů, vytvořenou provzdušňovací přísadou.
- Superplastifikační přísada pro injektování extra jemným portlandským cementem Rheocem® jako náhrada přísady Rheobuild® 2000 PF.

Působení

- RHEOBUILD® 1026 způsobuje jemnější rozptýlení cementových částic, čímž vznikne homogenní cementový film nižší hustoty, který snižuje třecí síly v betonu.
- RHEOBUILD® 1026 zajišťuje dostatečnou zpracovatelnost i při velmi nízkém vodním součiniteli a vede k dosažení vyšších počátečních a konečných pevností betonu.

Technické údaje

Vzhled	tmavě hnědá kapalina
Objemová hmotnost (při +20°C)	1,17 g/cm ³
Obsah chloridů	≤ 0,1 %
Obsah alkálií (Na ₂ O ekv.)	≤ 5,6 %

Zpracování

- Na betonárně lze přidat přísadu společně s poslední třetinou záměsové vody, vhodnější je do hotové betonové směsi. Ideální je zamíchat plastifikační přísadu na staveništi bezprostředně před vyprázdněním automixu.
- V každém případě je nutné dodržet minimální dobu míchání (na betonárně: 30–60 s dle intenzity míchacího jádra, v automixu 5–8 min dle množství betonu).
- Při současném použití přísady od jiného výrobce nutno odzkoušet vzájemnou snášenlivost.

Dávkování

- Účinné dávkování obecně je mezi 0,1–3,5 % hmotnosti cementu.
- Konkrétní dávkování je závislé na množství faktorů, např. požadované zpracovatelnosti, druhu cementu, technologii výroby atd.
- Před použitím je nutné provést průkazní zkoušku dle ČSN EN 206-1.
- Při použití s mikrocementy Rheocem® je doporučené dávkování 1,5–3 % hmotnosti pojiva při vodním součiniteli 0,5–1,0.

Skladování

- Chránit před mrazem a znečištěním!
- Při obvyklém skladování (uzavřená nádoba, +20 °C) zaručuje výrobce trvanlivost min. 1 rok.

Bezpečnostní pokyny

Přípravek nemá charakter nebezpečné látky ve smyslu zákona č. 350/2011 Sb., v platném znění. Při odborném používání nemá přísada žádný nepříznivý vliv na zdraví. Při manipulaci s chemikálií dodržujte běžná bezpečnostní opatření. Je třeba zabránit úniku látky do kanalizace, povrchových a spodních vod. Pokyny pro první pomoc, bezpečnostní pokyny a pokyny pro odstraňování látky a obalů jsou uvedeny v bezpečnostním listu.

Balení

- kanystr 20 kg
- sud 200 kg
- kontejner 1000 kg

Technická podpora

Příslušný spolupracovník firmy BASF Stavební hmoty Česká republika s.r.o. je Vám s dalšími informacemi a technickou podporou rád k dispozici.

Castament® FS 65

Characteristics / Chemistry

Castament® FS 65 is a free flowing, spray dried powder of a polymerisation product based on polyethylene glycol.

Field of Application

Castament® FS 65 is a polymeric dispersant for improved refractory use. It is recommended for SiC-C mixes, spinelforming mixes using fine MgO grades. Castament® FS 65 gives improved wetting, good water reduction and early strength. It can be used in low alumina cement castables with small amounts of microsilica.

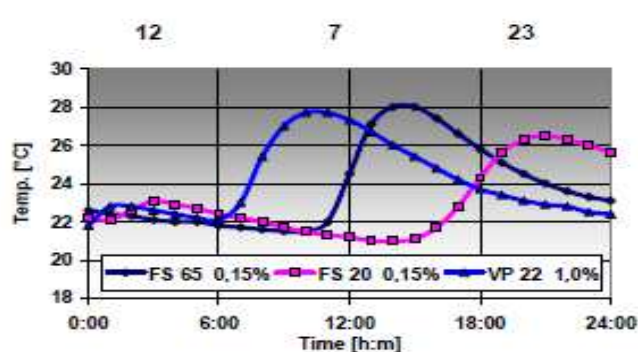
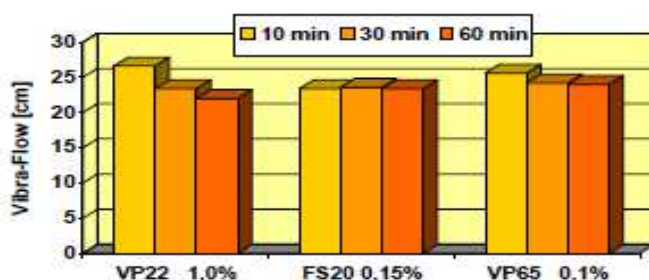
Selected Test Results

Tests have been carried out comparing the dosage of Castament® FS 65 dispersant against Castament® FS 20 and Castament® VP22 as a reference (for applications of Castament® FS 20 and Castament® VP22 see our separate leaflets) to reach similar vibra-flow properties.

Recipe Mass%

SiC	90
Cement CAC (70)	6
Microsilica	4
Dispersant	variable
Water b.w.c.	7.0%

CCS 24h[N/mm²]:



Technical Data

Physical shape	powder
Appearance	characteristic, slightly to intensively pastel-coloured
Drying loss, [%]	max. 2.0
Bulk density, [kg/m³]	300 to 500
pH-value (20 °C), 20 % solution	6.5 to 8.0
Dosage recommendation, [%] in relation to weight of refractory material	0.05 to 0.15
Packaging	15 kg paper bags
Storage	to be stored in its unopened original packaging, please store dry at usual ambient temperatures and protect from excessive heat (below 40 °C); no double stacking; may cake when exposed to pressure and friction
Shelf life	1 year
Storage class	11 (flammable solids)
Transport regulation	not known as a dangerous good according to transport regulations

Castament® FS 65 is a dispersant based on latest polymer technology. These types typically contain certain side chains based on polyethylene glycol. Due to raw material synthesis of the polyethylene glycol, the nature of radical polymerization and the composition, it is known that this technical product has some natural colour variations from nearly colourless to yellowish up to slightly brownish. However, these colour variations have no influence on the application performance of the product. It is not known that the product colour changes significantly over time under normal storage conditions.

This information and all further technical advice are based on our current knowledge and experience. However, it implies no liability or other legal responsibility on our part, including with regard to existing third party intellectual property rights, especially patent rights. In particular, no warranty, whether expressed or implied, or guarantee of product properties in the legal sense is intended or implied. We reserve the right to make any changes according to technological progress or further developments. The customer is not released from the obligation to conduct careful inspection and testing of goods. Performance and suitability of the product described herein have to be verified by testing, which has to be carried out only by qualified experts in the sole responsibility of the customer. Reference to trade names used by other companies is neither a recommendation nor an implementation that similar products could not be used. Customer is obliged to keep the disclosed samples and any related information under strict confidence and shall neither analyze such samples nor disclose them to third parties. In addition our general terms and conditions for sale are valid.

Issue: September 2011

This technical note is valid until replaced by a new issue.

BASF Construction Polymers GmbH
Dr.-Albert-Frank-Straße 32, 83308 Trostberg / Germany
Tel.: +49 8621 86-16 * Fax: +49 8621 86-29 95
www.construction-polymers.com * construction-polymers@basf.com

construction
polymers



OCV[™] Reinforcements

PRODUCT DATA SHEET

Anti-Crak[®] HP

Cem-FIL[®] Chopped Strands to improve Mechanical Properties of Concrete and Mortars

Anti-Crak[®] HP fibers are part of Cem-FIL[®] product range

PRODUCT DESCRIPTION

Anti-Crak[®] HP (High Performance) is an engineered high integrity AR-glass chopped strand designed for use in the reinforcement of concrete, renders and mortars.

Anti-Crak[®] HP chopped strands are suitable for all types of concrete mixes and have a sizing system (coating) optimized for mixing. The low-tex construction allows efficient reinforcement at relatively low dosages (in weight) compared to conventional steel reinforcement.

APPLICATIONS

Anti-Crak[®] HP has been developed to improve the mechanical properties of concrete mixes. It is used mainly for floor screeds, slabs, and for the preparation of high performance pre-bagged mixes of special mortars and renders.

AR glass reinforcement has a similar density to concrete and does not float. It provides a homogeneous dispersion of the fibers within the concrete mix.

Anti-Crak[®] HP is recommended for shotcrete in very aggressive environments, or for fire-protection of structural frames.



ADVANTAGES AND BENEFITS

- Control and prevention of cracking in fresh and hard concrete and mortars
- Overall enhancement of durability and mechanical properties of concrete
- Improves mechanical properties of hardened concrete
- Excellent workability
- Allows high dosages without affecting the workability
- Virtually invisible on finished surface
- Does not corrode
- Homogeneous mix
- No additional water needed
- Safe and easy to handle



FEATURES

- Fiber length: 6 mm, 12 mm, 18 mm, 24 mm, 36 mm – ½", ¾", 1", 1½"
- Filament diameter: 14 µm – 0.000546"
- Specific Gravity: 2.68 g/cm³
- Modulus of elasticity: 72 GPa – 10 x 10⁶ psi
- Loss on Ignition: 0.8% (ISO 1980: 1980)
- Moisture: 0.3% max (ISO 3344: 1977)
- Material: Alkali Resistant Glass*
- Softening point: 860°C – 1580°F
- Electrical Conductivity: Very low
- Chemical Resistance: Very high
- Linear weight: 45 - 500 Tex (g/km)
- Tensile Strength: 1,700 MPa – 250 x 10³ psi

* Our fibers are manufactured with high Zirconium content in compliance with ASTM C1666/G 1666/M-07 and EN 15422 and under the recommendations of PCI and GRCA.

Anti-Crak® HP

Cem-FIL® Chopped Strands to improve Mechanical Properties of Concrete and Mortars

Anti-Crak® HP fibers are part of Cem-FIL® product range

HOW TO USE – DOSAGES

Fibers can be introduced directly at the ready mix plant or in the blender for mortars or directly in the concrete truck.

For mortars, recommended dosage varies from between 0.2 to 1% by weight

For concrete, recommended dosage

Anti-Crak® HP



Benefits	Low addition rate	High addition rate	
	WWR Replacement	WWR Replacement / rebars #3, #4	Steel Replacement / rebar
Recommended dosage	0.9 - 1.5 kg/m³ 1.5 - 2.5 lb/cu.yd	1.5 - 5 kg/m³ 2.5 - 8 lb/cu.yd	5 - 15kg/m³ 8 - 25 lb/cu.yd
Anti-Crak® Fibers	HP 74/12 HP 110/18	HP 45/24 HP 67/36	HP 67/36

PACKAGING and STORAGE

Anti-Crak® HP chopped strands are packed in individual paper bags (water dispersible) or in plastic bags.

Anti-Crak® HP chopped strands should be stored away from heat and moisture, and in their original packaging.

The best conditions are:

- Temperature: 15°C – 35°C.
- Humidity: 35% – 65%.

QUALITY STANDARDS – CERTIFICATION

- Cem-FIL® fibers are manufactured under a quality Management System approved to ISO 9001. Additionally, the actual performance of Cem-FIL® fibers is subject to independent assessment and approval in Germany (Zulassung N° Z-3.72.1731).
- Cem-FIL® fibers meet safety standards according to European Directive 99/45/EC, 67/548/EEC and their latest amendment.

Cem-FIL® Customer Service

Alcalá de Henares, Spain
Tel. : + 34.91 885 58 03
Fax : + 34.91 885 58 34
Cem-fil@owenscorning.com

WWW.CEM-FIL.COM



OCV Reinforcements

OWENS CORNING
COMPOSITE MATERIALS, LLC
ONE OWENS CORNING PARKWAY
TOLEDO, OHIO 43659
1.800.GET.PINK™
www.owenscorning.com
www.ocvreinforcements.com

EUROPEAN OWENS CORNING
FIBERGLAS, SPRL
166, CHAUSSEÉ DE LA HULPE
B-1170 BRUSSELS
BELGIUM
+32.2.674.82.11

OWENS CORNING – OCV ASIA PACIFIC
SHANGHAI REGIONAL HEADQUARTERS.
2F OLIVE LVO. MANSION
620 HUA SHAN ROAD
SHANGHAI 200040
CHINA
86.21.62489922

The information and data contained herein is offered solely as a guide in the selection of a reinforcement. The information contained in this publication is based on actual laboratory data and field test experience. We believe this information to be reliable, but do not guarantee its applicability to the user's process or assume any responsibility or liability arising out of its use or performance. The user agrees to be responsible for thoroughly testing any application to determine its suitability before committing to production. It is important for the user to determine the properties of its own commercial compounds when using this or any other reinforcement. Because of numerous factors affecting results, we make no warranty of any kind, express or implied, including those of merchantability and fitness for a particular purpose. Statements in this publication shall not be construed as representations or warranties or as inducements to infringe any patent or violate any law safety code or insurance regulation.

Pub. No. 10010195-D. Owens Corning reserves the right to modify this document without prior notice. ©2010 Owens Corning

CemFIL_AntiCrak_HP_ww_12_2010_Rev6_EN



TECHNICKÝ A ZKUŠEBNÍ ÚSTAV STAVEBNÍ PRAHA, s.p.

Technical and Test Institute for Constructions Prague

Akreditovaná zkušební laboratoř, Autorizovaná osoba, Notifikovaná osoba, Certifikační orgán, Inspekční orgán
Accredited Test Laboratory, Authorised Body, Notified Body, Certification Body, Inspection Body

Certifikační orgán na výrobky
Pobočka 0400 – Teplice
vydává

CERTIFIKÁT

č. 040 – 025 473

na výrobek:

Normalizovaný písek

typ/varianta : CEN, ČSN EN 196-1

žadatel:

Filtrační písky, spol. s r. o.

IČ:	25 40 90 00
Adresa:	Chlum 117, 471 41 Dubá
Výrobna:	Chlum
IČ:	25 40 90 00
Adresa:	Chlum 117, 471 41 Dubá
Zakázka:	Z040 00 0053

Certifikační orgán tímto certifikátem osvědčuje, že:

- u vzorku předmětného výrobku zjistila shodu jeho vlastností s požadavky konkretizovanými
ČSN EN 196-1 Metody zkoušení cementu - Část 1: Stanovení pevnosti;
- výrobek odpovídá požadavkům technického předpisu - Vyhláška SÚJB č. 307/2002 Sb.
Státního úřadu pro jadernou bezpečnost o požadavcích na radiační ochranu ve znění Vyhlášky
499/2005 Sb.

Tento certifikát je vydán na základě protokolu o výsledku certifikace výrobku č. 040 - 025 472 ze dne 16. června 2006 vydaného TZÚS Praha, s. p. - pobočkou Teplice, který se předává žadateli. Protokol obsahuje závěry zjišťování a podmínky platnosti certifikátu. Certifikát má 1 přílohu (1 strana), která je nedílnou součástí certifikátu.

Platnost certifikátu do **30. června 2009**

Osoba odpovědná za správnost tohoto certifikátu:

Teplice, 16. června 2006



Ing. Karel Chrák
zástupce vedoucího certifikačního orgánu



Příloha k certifikátu č. 040 - 025 473

Podmínky platnosti a používání certifikátu:

1. Certifikát shody se musí používat pouze pro účely, pro které byl vydán.
2. Držitel certifikátu je povinen:
 - a) informovat certifikační orgán o všech změnách: modifikaci výrobků nebo výrobního procesu, materiálových změnách, změnách systému řízení výroby, které mají vliv na shodu certifikovaného výrobku;
 - b) oznamovat certifikačnímu orgánu změny ve vlastnictví, struktuře nebo vedení;
 - c) vést záznamy o všech stížnostech týkajících se neshody certifikovaného výrobku s požadavky příslušné normy;
 - d) přijmout vhodná opatření na odstranění neshody a přijatá opatření dokumentovat;
 - e) na požádání předložit certifikačnímu orgánu výše uvedené záznamy o stížnostech;
 - f) umožnit certifikačnímu orgánu provádět periodický dozor po dobu platnosti certifikátu.
3. Certifikační orgán provádí opakované hodnocení výrobku v případě, že dojde ke změně technických specifikací.
4. Platnost tohoto certifikátu je podmíněna kladným vyhodnocením výsledků dozorů obsažených ve zprávách certifikačního orgánu a předaných držiteli certifikátu.

Tato příloha je nedílnou součástí certifikátu č.040 – 025 473.

Teplice, 16. června 2006



Ing. Karel Chrák
zástupce vedoucího certifikačního orgánu

	TECHNICKÝ LIST	
	METAKAOLIN I META 4	
	surovina pro chemický a stavební průmysl	
	Výrobce a dodavatel :	
	Sedlečský kaolín s.p., 262 26 Božičany Czech Republic	Fax: +420 / 353 366 112 Tel: +420 / 353 366 111 E-mail: info@sedlecky-kaolin.cz http://www.sedlecky-kaolin.cz

TECHNICKÉ PARAMETRY

Parametr	hodnota	rozsah	
barva	oranžově-žlutá		(bílota ISO457 : 45-65%)
největší část	67		g/100 g, standardní síť
zpracovatelnost	155	140-250	mm, míra rozptýlení
sytná váha	380	350-450	kg/m ³
vlhkost	0,5		%, sušení při 100°C
Granulometrie (Sedigraph, Laser granulometr)			
podíl < 2 µm	54 %		sedimentační metoda
částice D ₅₀	2,8 µm		ditto
částice D ₉₀	4 µm	3,5-4,5	laserový granulometr
částice D ₉₅	13 µm	10-25	ditto
chemické složení %			
str. zhrnám	1,8	1-3	analytická metoda :
SiO ₂	52		Rtp-fluorescenční analýza
Al ₂ O ₃	41	38-42	kalibrace mezinár. standardy
Fe ₂ O ₃	1,8	1,7-2,5	
TiO ₂	0,3		
H ₂ O	0,3		
CaO	0,3		
K ₂ O	1,6		
Na ₂ O	0,01		

Systém řízení jakosti ve společnosti je certifikován podle normy ISO 9001:2000



Výrobní závod : CZ-362 26 Božičany

Balení : obří vaky 250 / 500 / 1000 kg

Garantované parametry produktu a podmínky dodávek jsou předmětem jednání

	TECHNICKÝ LIST METAKAOLIN N META 4 surovina pro stavební a chemický průmysl	
	Výrobce a dodavatel : Sedlecký kaolin a.s. Fax +420 / 353 366 112 362 26 Božičany Tel. +420 / 353 366 111 Czech Republic E-mail : info@sedlecky-kaolin.cz http://www.sedlecky-kaolin.cz	

TECHNICKÉ PARAMETRY

Parametr	hodnota	rozmezí	
bélost	86	80-90	%, ISO 457
olejové číslo	63		g/100 g, standardní olej
sypaná váha	380	350-450	kg/m ³
vlhkost	0,5		%, sušení při 105°C

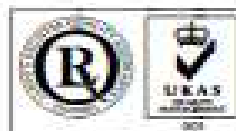
Granulometrie (Sedigraph, Laser granulometer)

podíl < 2 µm	41 %		sedimentační metoda
částice D ₅₀	2,8 µm		ditto
částice D ₉₀	4 µm	3,5-4,5	laserový granulometr
částice D ₉₉	13 µm	10-25	ditto

chemické složení %

ztr. žháním	0,5	0,5-2	analytická metoda : Rtg-fluorescenční analýza kalibrace mezinár. standardy
SiO ₂	54		
Al ₂ O ₃	43	40-44	
Fe ₂ O ₃	0,9	0,8-1,1	
TiO ₂	0,6		
MgO	0,3		
CaO	0,3		
K ₂ O	0,5		
Na ₂ O	0,01		

Systém řízení jakosti ve společnosti je
certifikován podle normy ISO 9001:2000



Výrobní závod : CZ-362 26 Božičany

Balení : obří vaky 250 / 500 / 1000 kg

Garantované parametry produktu a podmínky dodávek jsou předmětem jednání



Struska velmi jemně mletá

Technické parametry:

SMŠ dle PN SMŠ 72 20 90	SMŠ dle XYZ m ² /kg
Typ výrobku, přidávek	SMŠ 400
Měrný povrch dle Blaine	≥ 400 m ² /kg
	≥ 4000 m ² /g
Zbytek na síti 45 μm	≤ 4,5 %
Index účinnosti po 7 dnech *	> 50 %
Index účinnosti po 28 dnech *	> 80 %
Objemová zátěž dle Le Chatelier	< 10 mm
Obsah chloridů	≤ 0,1 %

* ~~podle ČSN 72 20 90~~ ~~průměr~~ v síti normalizovaných válečků z malty připravené ze 50 % hmotnosti referenčního cementu a 50 % hmotnosti SMŠ, kypřeno v síti normalizovaných válečků z malty připravené jen ze samotným referenčním cementem dle ČSN EN 196-1.

Chemické vlastnosti:

Struska mletá	m.j.	PN 72 20 90	dosahované průměrné skutečnosti
CaO	%	26 – 45	40,0
MgO	%	4 – 15	8,9
SiO ₂	%	28 – 45	39,9
Al ₂ O ₃	%	4 – 12	6,9
Fe ₂ O ₃	%	< 1,5	0,4
SO ₃	%	≤ 1,5	0,6
(CaO + MgO) / SiO ₂	%	> 1,0	1,2

Objednávky, informace: KOTOUČ STRAMBERK, spol. s r.o., Libetín 500, 742 66 Stramberk
tel.: 556 873 582-5; fax: 556 873 581; e-mail: obchod@kotouc.cz

Vytváření a šíření pravdivých informací ve veřejnosti, které jsou v souladu s hodnotami společnosti. Tímto vykládám stránku: www.kotouc.cz
vydání 3. aktualizace 12.2012 info@kotouc.cz

MATERIÁLOVÝ LIST

Příloha M k PN 85-013

	HYDROXID SODNÝ TECHNICKÝ
-----------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------

CAS 1310-73-2

Číslo ES 215-185-5

CHARAKTERISTIKA

Hydroxid sodný technický je čirá bezbarvá viskózní kapalina, někdy slabě zakalená, bez obsahu mechanických nečistot. Snadno se rozpouští ve vodě a v alkoholu. Při styku s vodou se silně zahřívá. Má silně alkalickou reakci.

Hydroxid sodný je látkou žravou ve smyslu zákona č. 356/2003 Sb. Pozor, způsobuje těžké poleptání! Při práci a jakékoliv manipulaci s ním je nezbytné dodržovat předpisy o bezpečnosti a ochraně zdraví uvedené v kapitole VI. této normy a v příslušném bezpečnostním listu.

Výrobek je vyráběn podle platné technologické, požární a bezpečnostní dokumentace.

TECHNICKÉ POŽADAVKY

Hodnota	Znak jakosti	Zkouší se podle článku č.
Celková alkalita (jako NaOH) v %, min. <i>Total alkalinity (as NaOH) in %, min.</i>	49,0	9
Uhlíčan sodný (Na_2CO_3) v %, max. <i>Sodium carbonate (Na_2CO_3) in %, max.</i>	0,2	9
Chloridy (NaCl) v %, max. <i>Chloride (NaCl) in %, max.</i> (tj. chloridy (Cl^-) v mg.kg^{-1})	0,017*) (103)	10, 11
Železo (Fe) v %, max. <i>Iron (Fe) in %, max.</i>	0,0005*)	12

*) Parametr zkoušen s využitím redukované kontroly. Deklarovanou úroveň jakostního parametru výrobce zaručuje, naměřená hodnota nemusí být součástí osvědčení o jakosti (atestu).

Č. vyřizku / č. revize	Nahrazuje Materiálový list ze dne :	Účinnost od :	Strana 1 z 1
1	1.3.2000	1.2.2005	

Oli 29.4.2014 10:17 odp.



KITTFORT PRAHA
Hornáčky 1
277 11 Neratovice

VODNÍ SKLO

PN:KT-B-17-01-09

Název výrobku
Vodní sklo

Složení
Vodní sklo sodné 36-38, křemičitá kyselina, sodná sůl

Odstín
Našedlá až načervenalá kapalina

Použití
Vodní sklo se používá ke konzervaci vajec nebo jako pojivo do žáruvzdorných malt a tmelů

Dávkování
Konzervace vajec: 1 díl vodního skla + 9 dílů převařené vody. Na láhev o obsahu 5 litrů (50 ks vajec) stačí 2,5 litrů roztoku. Čistá omytá vejce vložíme do láhve a zalijeme roztokem.
Pojivo do žáruvzdorných malt a tmelů: Rudokitt® univerzální žáruvzdorný tmel vodní sklo s vodou v poměru 2:1
Šamotová výmazová hmota - přibližně 2 polévkové lžice na 1 kg šamotové hmoty

Bezpečnost a ochrana zdraví
KLASIFIKACE: Xi - dráždivý

První pomoc
Při nadýchání: za běžné teploty má látka nízkou tenzi par. Pokud při nadýchání způsobí nepříznivé účinky, přesunout postiženého do nekontaminovaného prostředí. Vyhledat lékaře.
Při požití: při náhodném požití vypít asi půl litru vody nebo mléka a do 5 minut po požití vyvolat zvracení. Později zvracení nevyvolávat.
Při zasažení kůže: odložit kontaminovaný oděv a kůži omýt velkým množstvím vody.
Při zasažení očí: zasažené oko vyplachovat proudem vodou

Vzhled
kapalina našedlá až načervenalá

Balení
500ml, 1l, 5l

Záruční doba: 18 měsíců od data plnění uvedeného na obalu.